

література



Навчально-методична

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет

ім. Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій

## **ПОСІБНИК з лекцій**

із дисципліни

«Автоматизовані системи керування

технологічними процесами»

напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

Тернопіль – 2017

УДК 658.5

ББК 32.965

Укладач:

*Карташов В.В.*, канд. техн. наук, доцент.

Рецензенти:

*П.Д. Стухляк*, докт. техн. наук., професор,

*Р.З. Золотий*, канд. техн. наук, доцент.

Посібник розглянуто і затверджено на засіданні методичного семінару кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя протокол №1 від 28 серпня 2017 р.

Схвалено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя протокол № 1 від 28 серпня 2017 р.

Посібник з лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» / Укладач : Карташов В.В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 – 149 с.

УДК 658.5

ББК 32.965

Посібник складено з урахуванням матеріалів літературних джерел, наведених у переліку.

Відповідальний за випуск: *В.В. Карташов*, канд. техн. наук, доцент.

© Карташов В.В.

2017

© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

2017

## Вступ

Для технологічних об'єктів галузі, як об'єктів автоматизації, характерними є такі особливості: наявність різномірних функціональних завдань, що виникають при автоматизації; порівняно високий рівень автоматизації існуючих ТОВ; підвищення актуальності завдань оптимізації та ін. Управляти подібними об'єктами неможливо без сучасних засобів автоматизації та обчислювальної техніки, без високоефективних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП).

АСУТП відносяться до класу складних систем, яким притаманні такі риси: наявність у всіх елементів спільної мети; системний характер реалізованих алгоритмів обміну і обробки інформації; велике число входять в систему функціональних підсистем.

Сучасний етап розвитку АСУТП характеризується застосуванням індустріальних технологій створення і впровадження АСУТП на базі промислових контролерів, що серійно випускаються, сумісних з персональними комп'ютерами і потужних програмно-технічних комплексів (ПТК) підтримки програмування АСУТП - SCADA систем, а також розвитку і стандартизації мережевих технологій.

Побудова АСУТП на основі концепції відкритих систем дозволяє апаратно-програмні засоби різних виробників поєднувати знизу доверху і забезпечувати перевірку всієї системи. При такому підході значно зменшується загальна вартість системи в результаті застосування більш дешевого обладнання (при аналогічних функціональних характеристиках), часткової і поетапної заміни наявних на підприємстві апаратно-програмних засобів або навіть збереження деякого старого обладнання.

Найважливішими властивостями відкритих систем є: мобільність прикладних програм; мобільність персоналу; чіткі умови взаємодії частин системи з використанням відкритих специфікацій.

У першому розділі даються основні поняття і визначення АСУТП, ТОУ, АТК, функцій АСУТП, критерію управління, складу АСУТП і класифікаційних ознак АСУТП. Другий розділ знайомить з основними поняттями мережевих термінологій. Дається визначення мережі та її види: локальні, розподілені, комунікаційні, інформаційні. Знайомить з архітектурою мережі. У розділах 3....7 розглядаються АСУТП і побудова їх на базі концепції відкритих систем, в основі яких лежить семирівнева модель. Дається опис цих рівнів. Розглядаються різні топології мереж і їх вибір, наводяться основні апаратні і програмні компоненти, розповідається про роботу протоколів і мережевої архітектури Ethernet. Сучасні локальні мережі повинні відповідати певним вимогам, опис яких пропонується в розділі 8. Глава 9 знайомить з функціональними завданнями АСУТП. Викладається алгоритмічне забезпечення основних завдань АСУТП. У 10 главі розглядаються різні архітектури АСУТП: централізована, розподілена, клієнт-сервер, Citect, масштабована, багаторівнева, з окремими серверами. Програмовані логічні контролери (ПЛК) є одними з сучасних основних засобів автоматизації. Їх місце в АСУ, структура, операційна система, класифікація і вибір розглядаються в розділах 11 і 12. Важливе значення для АСУТП має протиаварійний захист (ПАЗ). У главі 13 обґрунтовується необхідність застосування ПАЗ в АСУТП. Розглядаються системи безпеки в гнучких виробництвах і ПАЗ в АСУТП. Показано шляхи підвищення надійності системи ПАЗ.

# I. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

## 1.1 Основні поняття і визначення

## 1.2 Функції АСУТП

## 1.3 Склад АСУТП

## 1.4 Загальні технічні вимоги

## 1.5 Класифікація АСУТП

Ключові слова: технологічний об'єкт управління, автоматизований технологічний комплекс, автоматизована система управління технологічним процесом, критерій управління, режими управління, склад АСУТП, класифікація.

### 1.1 Основні поняття і визначення.

Автоматизована система управління технологічним процесом (АСУТП) призначена для вироблення і реалізації керуючих впливів на технологічний об'єкт управління.

**Технологічний об'єкт управління (ТОУ)** - це сукупність технологічного обладнання та реалізованого на ньому по відповідним інструкціям чи регламентам технологічного процесу виробництва.

До технологічних об'єктів управління відносяться:

- технологічні агрегати і установки (групи верстатів), реалізують самостійний технологічний процес;
- окремі виробництва (цехи, дільниці) або виробничий процес всього промислового підприємства, якщо управління цим виробництвом носить в основному технологічний характер, тобто полягає в реалізації раціональних режимів роботи взаємопов'язаних агрегатів (ділянок, виробництв).

Спільно функціонуючі ТОУ і керуюча ним АСУТП утворюють **автоматизований технологічний комплекс (АТК)**.

**Автоматизована система управління технологічним процесом** - людино-машинна система управління, що забезпечує автоматизований збір і обробку інформації, необхідної для оптимізації управління технологічним об'єктом відповідно до прийнятого критерію.

Таке визначення АСУТП підкреслює наявність в її складі сучасних автоматичних засобів збору і обробки інформації, в першу чергу засобів

обчислювальної техніки; роль людини в системі як суб'єкта праці, що приймає змістовну участь у виробленні рішень з управління; реалізацію в системі процесу обробки технологічної і техніко-економічної інформації; мета функціонування АСУТП, яка полягає в оптимізації роботи технологічного об'єкта управління з прийнятим критерієм (критеріями) управління шляхом відповідного вибору керуючих впливів.

**Критерій управління АСУТП** - це співвідношення, яке характеризує якість функціонування технологічного об'єкта управління в цілому і приймає конкретні числові значення в залежності від використовуваних керуючих впливів. Таким чином, критерієм управління зазвичай є техніко-економічний показник (наприклад, собівартість вихідного продукту при заданій його якості, продуктивність ТОУ при заданій якості вихідного продукту і т. п.) або технічний показник (наприклад, параметри процесу, характеристики вихідного продукту). Система управління ТОУ є АСУТП в тому випадку, якщо вона здійснює управління ТОУ в цілому в темпі протікання технологічного процесу і якщо у виробленні і реалізації рішень з управління, беруть участь засоби обчислювальної техніки та інші технічні засоби і людина-оператор.

### **АСУТП в системі управління промисловим підприємством.**

АСУТП як компоненти загальної системи управління промисловим підприємством призначені для цілеспрямованого ведення технологічних процесів і забезпечення суміжних і вищестоящих систем управління оперативною і достовірною техніко-економічною інформацією. АСУТП, створені для об'єктів основного і допоміжного виробництва, являють собою низовий рівень автоматизованих систем управління на підприємстві. АСУТП можуть використовуватися для управління окремими виробництвами, що включають в свій склад взаємопов'язані ТОУ. АСУТП виробництва забезпечує оптимальне (Раціональне) управління як усіма АТК і ТОУ, так і допоміжними процесами (прийманням, транспортуванням, складуванням вхідних матеріалів, заготовок і готової продукції і т. д.), що входять до складу даного виробництва. Організація взаємодії АСУТП з системами управління вищих рівнів визначається наявністю на промисловому підприємстві автоматизованої системи управління підприємством (АСУП) і автоматизованих систем організаційно-технологічного управління (АСОУТ). АСУТП отримує від відповідних підсистем АСУП або служб управління підприємством безпосередньо або через АСУОТ завдання і обмеження (номенклатуру продуктів або виробів, що підлягають випуску, обсяги виробництва, техніко-економічні показники, що характеризують якість функціонування АТК, відомості про наявність ресурсів) і забезпечує підготовку і передачу цим системам необхідну для їх роботи техніко-економічну інформацію, зокрема про

виконані завдання, продукцію, оперативну потребу в ресурсах, стан АТК (стан устаткування, під час технологічного процесу, його техніко-економічні показники і т.п.).

При наявності на підприємстві систем технічної і (або) технологічної підготовки виробництва забезпечується взаємодія АСУТП з цими системами. АСУТП отримують від них технічну, технологічну та іншу інформацію, необхідну для проведення заданих технологічних процесів, і направляють в ці системи фактичну оперативну інформацію, необхідну для їх функціонування, в тому числі для коригувань регламентів проведення технологічних процесів. При створенні на підприємстві комплексної системи управління якістю продукції АСУТП є її виконавчими підсистемами, що забезпечують задану якість продукції ТОВ і підготовку фактичної оперативної інформації про хід технологічних процесів (статистичний контроль і т.д.). Перелік, форма подання і режим обміну інформацією між АСУТП і взаємопов'язаними з нею іншими системами управління (як автоматизованими, так і неавтоматизованими) визначаються в кожному конкретному випадку в залежності від специфіки виробництва, його організації і прийнятої структури управління ним.

## **1.2. Функції АСУТП.**

При створенні АСУТП повинні бути визначені конкретні цілі функціонування системи і її призначення в загальній структурі управління підприємством. Такими цілями, наприклад, можуть бути:

- економія палива, сировини, матеріалів і інших виробничих ресурсів;
- забезпечення безпеки функціонування об'єкта;
- підвищення якості вихідного продукту (виробів) або забезпечення заданих значень параметрів вихідних продуктів (виробів);
- зниження витрат живої праці; досягнення оптимального завантаження (використання) обладнання;
- оптимізація режимів роботи технологічного обладнання (в тому числі, маршрутів обробки в дискретних виробництвах) і т.д.

Функція АСУТП - це сукупність дій системи, спрямованих на досягнення приватної мети управління. Сукупність дій системи являє собою певну і описану в експлуатаційній документації послідовність операцій і процедур, що виконуються частинами системи. Слід відрізняти функції АСУТП в цілому від функцій, які виконуються всім комплексом технічних засобів системи або його окремими пристроями. Функції АСУТП підрозділяються на керуючі, інформаційні та допоміжні.

*Керуюча функція АСУТП* - це функція, результатом якої є вироблення і реалізація керуючих впливів на технологічний об'єкт управління. До керуючих функцій АСУТП відносяться:

- регулювання (стабілізація) окремих технологічних змінних;
- однократне логічне управління операціями або апаратами;
- програмне логічне управління групою обладнання;
- оптимальне управління ustalеними або перехідними технологічними режимами або окремими ділянками процесу;
- адаптивне управління об'єктом в цілому (наприклад, самоналаштовувальною комплексно-автоматизованою ділянкою верстатів з числовим програмним управлінням).

*Інформаційна функція АСУТП* - це функція системи, змістом якої є збір, обробка і подання інформації про стан АТК оперативному персоналу або передача цієї інформації для подальшої обробки.

До інформаційних функцій АСУТП відносяться:

- централізований контроль і вимірювання технологічних параметрів;
- непряме вимірювання (обчислення) параметрів процесу (техніко-економічних показників, внутрішніх змінних);
- формування і видача даних оперативному персоналу АСУТП або (АТК);
- підготовка і передача інформації в суміжні системи управління;
- узагальнена оцінка і прогноз стану АТК і його обладнання.

Відмітна особливість керуючих та інформаційних функцій АСУТП їх спрямованість на конкретного споживача (об'єкт управління, оперативний персонал, суміжні системи управління).

*Допоміжні функції АСУТП* - це функції, що забезпечують рішення внутрішньосистемних завдань. Допоміжні функції не мають споживача поза системою і забезпечують функціонування АСУТП (функціонування технічних засобів системи, контроль за їх станом, зберіганням інформації та т. п.). Залежно від ступеня участі людей у виконанні функцій системи розрізняють два режими реалізації функцій: автоматизований і автоматичний. *Автоматизований режим* реалізації керуючих функцій характеризується участю людини у виробленні (прийнятті) рішень і (або) їх реалізації. При цьому можливі наступні варіанти:



- ручний режим, при якому комплекс технічних засобів представляє оперативному персоналу контрольно-вимірювальну інформацію про стан ТОУ, а вибір і здійснення управляючих впливів виробляє людина-оператор;

- режим «порадника», при якому комплекс технічних засобів виробляє рекомендації з управління, а рішення про їх використання приймається і реалізується оперативним персоналом;

- діалоговий режим, при якому оперативний персонал має можливість коригувати постановку і умови задачі, розв'язуваної комплексом технічних засобів системи при виробленні рекомендацій з управління об'єктом.

*Автоматичний режим* реалізації керуючих функцій передбачає автоматичне вироблення і реалізацію керуючих впливів. При цьому розрізняють:

- режим непрямого управління, коли засоби обчислювальної техніки автоматично змінюють уставки і (або) параметри налаштування локальних систем автоматичного управління (регулювання);

- режим прямого (безпосереднього) цифрового (або аналого-цифрового) управління, коли керуючий обчислювальний пристрій формує вплив на виконавчі механізми.

Автоматизований режим реалізації АСУТП інформаційних функцій АСУТП передбачає участь людей в операціях з отримання та обробки інформації. В автоматичному режимі всі необхідні процедури обробки інформації реалізуються без участі людини. АСУТП є системи управління, якісно відмінні від систем автоматичного регулювання (САР), призначених для стабілізації режимів процесів і агрегатів.

Основна мета САР - оптимальне відпрацювання завдання, що забезпечує стабілізацію необхідної фізичної величини або технологічного параметра. При цьому значення завдання вважається відомим і може бути як постійним, так ізмінним по заздалегідь відомому закону.

Структура АСУТП, на відміну від САР, передбачає неодмінну участь людини - оператора в прийнятті рішень поуправління об'єктом. Структура АСУТП обов'язково включає контур формування оператором управляючих впливів, оскільки мета АСУТП - реалізація оптимального режиму роботи об'єкта. Критеріями оптимальності технологічних режимів, як правило, є техніко-економічні показники (ККД, питомі витрати сировини, енергії, палива, собівартість продукції), які зазвичай не можуть бути безпосередньо виміряні, а виходять в результаті відповідних обчислювальних процедур.

### 1.3. Склад АСУТП.

Для виконання функцій АСУТП необхідна взаємодія наступних її складових частин:

- технічного забезпечення (ТО);
- програмного забезпечення (ПО);
- інформаційного забезпечення (ІЗ);
- організаційного забезпечення (ОЗ);
- оперативного персоналу (ОП).

Технічне забезпечення АСУТП є повною сукупністю технічних засобів, достатню для функціонування АСУТП і реалізації системою всіх її функцій. До складу комплексу технічних засобів (КТЗ АСУТП) входять обчислювальні вузли; засоби отримання (датчики), перетворення, зберігання, відображення та реєстрації інформації (сигналів); пристрою передачі сигналів і виконавчі пристрої.

Програмне забезпечення АСУТП - сукупність програм, необхідна для реалізації функцій АСУТП, заданого функціонування комплексу технічних засобів АСУТП і передбачуваного розвитку системи. Програмне забезпечення АСУТП поділяється на загальне ПО і спеціальне програмне забезпечення.

*Загальне програмне забезпечення АСУТП* поставляється в комплекті із засобами обчислювальної техніки. До загального програмного забезпечення АСУТП відносяться необхідні впроцесі функціонування і розвитку системи програми, програми для автоматизації розробки програм, компонування програмного забезпечення, організації функціонування обчислювального комплексу та інші службові і стандартні програми (організовуючі програми, трансляючі програми, бібліотеки стандартних програм і ін.).

*Спеціальне програмне забезпечення АСУТП* розробляється або запозичується з відповідних фондів пристворенні конкретної системи і включає програми реалізації основних (керуючих та інформаційних) та допоміжних (забезпечення заданого функціонування КТС системи, перевірка правильності введення інформації, контроль за роботою КТС системи і т. п.) функцій АСУТП. Спеціальне програмне забезпечення АСУТП розробляється на базі із використанням програм загального програмного забезпечення. Програми спеціального програмного забезпечення, мають перспективу багаторазового використання, після промислової перевірки можуть передаватися до

відповідних фондів або заводам-виробникам обчислювальної техніки для включення їх до складу загального програмного забезпечення.

Інформаційне забезпечення АСУТП включає:

- інформацію, що характеризує стан автоматизованого технологічного комплексу;
- системи класифікації та кодування технологічної та техніко-економічної інформації;
- масиви даних і документів, необхідних для виконання всіх функцій АСУТП, в тому числі нормативно-довідкову інформацію.

Організаційне забезпечення АСУТП є сукупністю описів функціональної, технічної та організаційної структур, інструкцій і регламентів для оперативного персоналу АСУТП, що забезпечує задане функціонування оперативного персоналу в складі АТК.

До складу оперативного персоналу АСУТП входять:

- технологи-оператори, які здійснюють контроль за роботою і управлінням ТОУ з використанням інформації та рекомендацій щодо раціонального управління, вироблених комплексом технічних засобів АСУТП;
- експлуатаційний персонал АСУТП, що забезпечує правильність функціонування комплексу технічних засобів АСУТП.

Ремонтний персонал до складу оперативного персоналу АСУТП не входить. Створення АСУТП допускається здійснювати по підсистемах. Підсистема АСУТП - це частина системи, виділена по функціональній або структурній ознаці. Функціональна ознака дозволяє ділити систему, наприклад, на керуючу і інформаційну підсистеми або ряд підсистем у відповідності до цілей. Структурна ознака дозволяє ділити АСУТП на підсистеми, щоб забезпечити управління частиною об'єкта або відповідним самостійним частинам комплексу технічних засобів і т. д.

#### **1.4. Загальні технічні вимоги**

До АСУТП в цілому ставляться такі основні вимоги. Вона повинна:

- здійснювати управління ТОУ в цілому в темпі протікання технологічного процесу і у виробленні і реалізації рішень з управління повинні брати участь засоби обчислювальної техніки і людина-оператор;

- забезпечувати управління ТОУ відповідно до прийнятих критеріїв ефективності функціонування АТК (критеріїв управління АСУТП);
- виконувати всі покладені на неї функції з заданими характеристиками і показниками якості управління;
- володіти необхідним рівнем надійності;
- забезпечувати можливість взаємопов'язаного функціонування з системами управління суміжних рівнів ієрархії і іншими АСУТП;
- відповідати ергономічним вимогам, що пред'являються до систем, зокрема до способів і форми представлення інформації оператору, до розміщення технічних засобів іт. д .;
- володіти необхідними метрологічними характеристиками вимірювальних каналів;
- допускати можливість модернізації і розвитку в межах, передбачених технічним завданням (ТЗ) на створення АСУ ТП;
- нормально функціонувати в умовах, зазначених у ТЗ на систему;
- забезпечувати заданий середній термін служби з урахуванням проведення відновлювальних робіт, зазначених в технічній документації на основні складові частини АСУТП.

### **1.5. Класифікація АСУТП**

При плануванні, проведенні та узагальненні розробок АСУТП слід мати на увазі, що ці системи досить різноманітні. Для вирішення ряду наукових, технічних і організаційних питань необхідно користуватися загальною класифікацією АСУТП, тобто правилами розбиття всієї множини цих систем на такі підмножини (класифікаційні групи), в межах яких всі входні в них АСУТП однакові, близькі і або схожі в тому чи іншому відношенні. АСУТП як об'єкти класифікації характеризуються багатьма істотними факторами і показниками, кожен з яких може виступати в ролі класифікаційної ознаки. Тому загальна класифікація АСУТП складається з ряду класифікацій, що проводяться по одному з таких ознак.

Залежно від поставлених цілей необхідно користуватися різними класифікаційними ознаками або їх різними поєднаннями. Наведена нижче класифікація АСУТП може використовуватися в основному з цілями:

- вибору систем-аналогів на ранніх етапах розробки АСУТП;

- оцінки необхідних ресурсів при укрупненому плануванні робіт зі створення АСУТП;
- визначення якості (науково-технічного рівня) АСУТП;
- визначення капіталомісткості АСУТП в умовних одиницях.

До основних класифікаційних ознак АСУТП відносяться:

- рівень, займаний ТОУ і АСУТП в структурі підприємства;
- характер протікання технологічного процесу від часу;
- показник умовної інформаційної потужності;
- рівень функціональної надійності АСУТП;
- тип функціонування АСУТП.

Класифікації по кожному із зазначених ознак (а також по будь-яким їх сполученням) можуть розглядатися і використовуватися як незалежні: конкретному індексу одного (або кількох) ознак можуть відповідати будь-які індекси інших ознак. За рівнем, займаному в структурі підприємства, АСУТП класифікується відповідно до табл.1.1.

Таблиця 1.1 Класифікація АСУТП за рівнем, займаному в організаційно виробничій ієрархії

| Клас АСУТП           | Кодовий індекс | ТОУ  |
|----------------------|----------------|--|
| АСУТП нижньогорівня  | 1              | Технологічні агрегати,установки, ділянки                             |
| АСУТП верхньогорівня | 2              | Групи установок, цехи,виробництва; не включають АСУТП нижнього рівня |
| АСУТП багаторівневі  | 3              | Те ж, що в класі 2, але включаючи АСУТП нижнього рівня               |

Характер протікання керованого технологічного процесу в часі визначається безперервністю (або дискретністю) надходження сировини і реагентів, наявністю (чи відсутністю) тривалих сталих і перехідних режимів функціонування ТОУ, наявністю і тривалістю дискретних операцій з переробки вхідних потоків матеріалів. З цією ознакою АСУТП класифікуються відповідно до табл. 1.2. Умовна інформаційна потужність ТОУ характеризується числом технологічних змінних, вимірюваних або контрольованих в даній АСУТП. Залежно від значення цього показника АСУТП поділяються на класи (табл. 1.3).

Таблиця 1.2. Класифікація АСУТП по характеру протікання керованого технологічного процесу в часі

| Клас АСУТП                                       | Кодовий індекс | Характер технологічного процесу  |
|--|----------------|--|
| АСУ неперервним технологічним процесом           | н              | Неперервний з тривалою підтримкою режимів, близьких до встановлених, і практично беззупинною подачею сировини і реагентів                                      |
| АСУ неперервно-дискретним технологічним процесом | п              | Поєднання неперервних і перервних режимів функціонування різноманітних технологічних агрегатів або на різних стадіях процесу (в тому числі періодичні процеси) |
| АСУ дискретним технологічним процесом            | д              | Переривчатий із несуттєвою для керування тривалістю технологічних операцій   |

Таблиця 1.3. Класифікація АСУТП за умовною інформаційною потужністю

| Умовна інформаційна потужність | Кодовий індекс | Число вимірюваних або контрольованих технологічних змінних |             |
|--------------------------------|----------------|--|-------------|
|                                |                | мінімальне   | максимальне |
| найменша                       | 1              | 10   | 40          |
| мала                           | 2              | 41   | 160         |
| середня                        | 3              | 161  | 650         |
| підвищена                      | 4              | 651  | 2500        |
| велика                         | 5              | 2501   | Не обмежено |

Необхідний (або досягнутий) рівень функціональної надійності АСУТП вирішальним чином впливає на структуру і багато технічних характеристик системи, а також на реальні значення показників її ефективності. Узагальнена класифікація АСУТП за рівнем функціональної надійності приведена в табл.1.4. Тип функціонування АСУТП наближено характеризується сукупністю автоматично виконуваних інформаційних і керуючих функцій системи. Класифікація АСУТП за цією ознакою дана в табл.1.5.

Визначений відповідно до табл. 1.5 клас АСУТП позначається в кодовій або словесній формі. Кодове позначення класу АСУТП складається з основного і додаткового кодів. Основний код будується з цифрових і буквених індексів класифікації, наведених в табл. 1.5.

Таблиця 1.4. Класифікація АСУТП по рівню функціональної надійності

| Рівень функціональної надійності | Кодовий індекс | Коротка характеристика рівня надійності   |
|----------------------------------|----------------|---|
| Мінімальний                      | 1              | Практично не регламентується, не потребує спеціальних мір                                 |
| Середній                         | 2              | Регламентується, але відмови в АСУТП не приводять до зупинок ТОУ                          |
| Високий                          | 3              | Жорстко регламентується, так як відмови в АСУТП можуть привести до зупинок ТОУ або аварій |

Таблиця 1.5. Класифікація АСУТП по типу функціонування

| Умовна назва типу функціонування АСУТП | Кодовий індекс | Коротка характеристика особливостей функціонування системи  |
|--|----------------|---|
| Інформаційний                          | І              | Автоматично виконуються тільки інформаційні функції, рішення по керуванні приймає і реалізує оператор   |
| Локально -автоматичний                 | Л              | Автоматично виконуються інформаційні функції і функції локального керування (регулювання). Рішення по керуванні процесом в цілому приймає і реалізовує оператор             |
| Порадницький                           | П              | Автоматично виконуються інформаційні функції, функції локального керування і з допомогою моделі процесу формуються поради по вибору керуючих впливів з врахуванням критерію |
| Автоматичний                           | А              | Всі функції АСУТП, включаючи керування процесом по критерію, виконуються автоматично  |

Наприклад, словесному позначенні АСУ безперервним технологічним процесом в агрегаті «порадницького» типу, з 360-ма технологічними змінними і вищим рівнем функціональної надійності відповідає код 1н33 с, який легко визначається за табл. 1-5.

Вибір систем-аналогів розроблюваної АСУТП з використанням наведеної класифікації здійснюється наступним чином:

- відповідно до табл. 1-5 визначають клас, до якого належить розроблювана АСУТП, і її складовий класифікаційний індекс;

- у відомчих, галузевих і міжгалузевих класифікаційних фондах знаходять кілька розробок АСУТП, що мають складовий класифікаційний індекс, що співпадає з індексом даної системи;

- серед знайдених таким чином розробок АСУТП вибирають ту, яка в більшій мірі може вважатися найбільш близьким аналогом створюваної, а прийняті в ній рішення підлягають аналізу з метою визначення можливості і доцільності їх повторного застосування в створюваній АСУ ТП.

Основу АСУТП складають локальні мережі.

## **2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ МЕРЕЖЕВОЇ ТЕРМІНОЛОГІЇ**

### **2.1 Основні визначення і терміни**

### **2.2 Переваги використання мереж**

### **2.3 Архітектура мереж**

### **2.4 Вибір архітектури мереж**

Ключові слова: мережі: локальні, розподілені, комунікаційні, інформаційні; канали: зв'язку, логічний; протокол, трафік, блок даних, метод доступу, топологія, архітектура, сервіс.

### **2.1. Основні визначення і терміни**

Мережа - це сукупність об'єктів, утворених пристроями передачі і обробки даних. Міжнародна організація по стандартизації визначила обчислювальну мережу як послідовну біт-орієнтовану передачу інформації між пов'язаними один з одним незалежними пристроями.

Мережі зазвичай знаходяться в приватному веденні користувача, і займають деяку територію України й за ознакою поділяються на:

- локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) або Local AreaNetwork (LAN), розташовані в одному або декількох близько розташованих будівлях. ЛВС зазвичай розміщуються в рамках будь-якої організації (корпорації, установи), тому їх називають корпоративними;

- розподілені комп'ютерні мережі, глобальні або Wide Area Network (WAN), розташовані в різних будівлях, містах і країнах, які бувають територіальними, змішаними і глобальними. Залежно від цього глобальні мережі бувають чотирьох основних видів: міські, регіональні, національні та



транснаціональні. В якості прикладу розподілених мереж дуже великого масштабу можна назвати: Internet, EUNET, Relcom, FIDO.

До складу мережі у загальному випадку включаються наступні елементи:

- мережеві комп'ютери (оснащені мережевим адаптером);
- канали зв'язку (кабельні, супутникові, телефонні, цифрові, волоконно-оптичні, радіоканали і ін.);
- різного роду перетворювачі сигналів;
- мережеве обладнання.

Розрізняють два поняття мережі: комунікаційна мережа і інформаційна мережа (рис. 2.1).

*Комунікаційна мережа* призначена для передачі даних, також вона виконує завдання, пов'язані з перетворенням даних. Комунікаційні мережі розрізняють за типом використовуваних фізичних засобів з'єднання.

*Інформаційна мережа* призначена для зберігання інформації і складається з інформаційних систем. На базі комунікаційної мережі може бути побудована група інформаційних мереж:

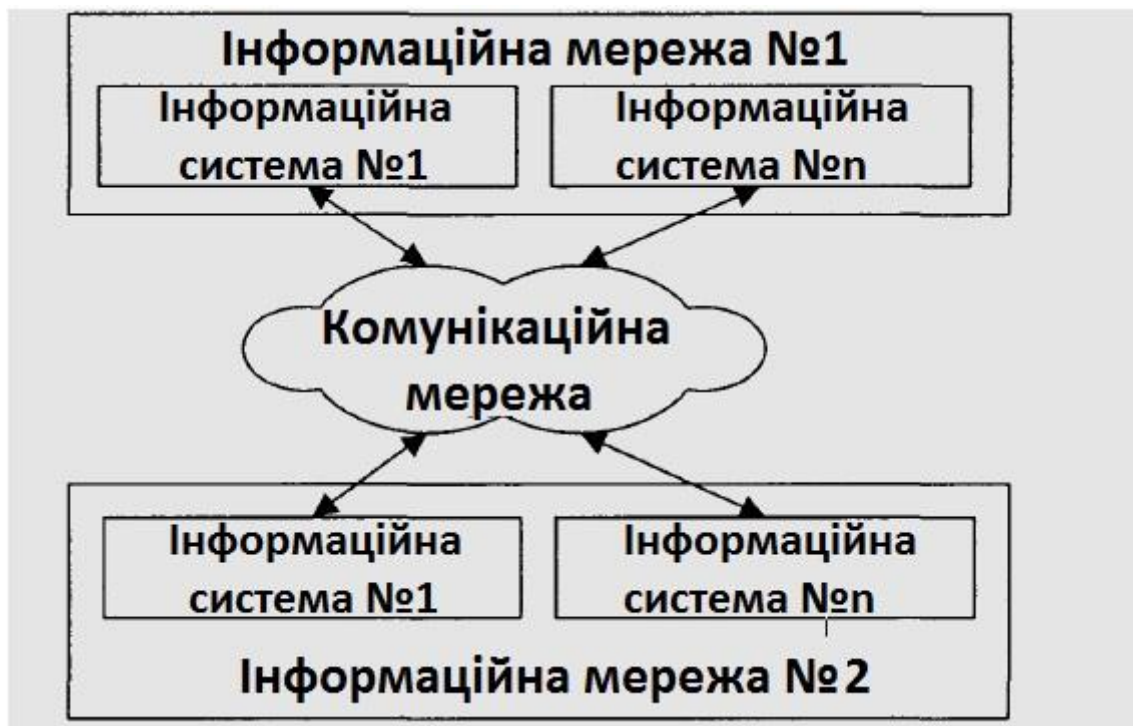


Рис.2.1 Інформаційні та комунікаційні мережі

Під каналом зв'язку слід розуміти шлях або засіб, по якому передаються сигнали. Засіб передачі сигналів називають абонентським, або фізичним, каналом.

*Канали зв'язку* (data link) створюються по лініях зв'язку за допомогою мережевого устаткування і фізичних засобів зв'язку. Фізичні засоби зв'язку побудовані на основі кабелів витієї пари, коаксіальних кабелів, оптичних каналів або ефіру. Між взаємодіючими інформаційними системами через фізичні канали комунікаційної мережі і вузли комутації встановлюються логічні канали.

*Логічний канал* - це шлях для передачі даних від однієї системи до іншої. Логічний канал прокладається по маршруту в одному або декількох фізичних каналах. Логічний канал можна охарактеризувати, як маршрут, прокладений через фізичні канали і вузли комутації.

Інформація в мережі передається *блоками даних* по процедурам обміну між об'єктами. Ці процедури називають протоколами передачі даних.

*Протокол* - це сукупність правил, які визначають формат і процедури обміну інформацією між двома або декількома пристроями.

Завантаження мережі характеризується параметром, який називається трафіком. Трафік (traffic) - це потік повідомлень в мережі передачі даних. Під ним розуміють кількісне значення в вибраних точках мережі числа проходячих блоків даних і їх довжини, виражене в бітах в секунду.

Істотний вплив на характеристику мережі надає *метод доступу*. *Метод доступу* - це спосіб визначення того, яка з робочих станцій зможе наступною використовувати канал зв'язку і як управляти доступом до каналу зв'язку (кабелю). У мережі всі робочі станції фізично з'єднані між собою каналами зв'язку по певній структурі, що називається *топологією*.

*Топологія* - це опис фізичних з'єднань в мережі, який вказує які робочі станції можуть зв'язуватися між собою. Тип топології визначає продуктивність, працездатність і надійність експлуатації робочих станцій, а також час звернення до файлового серверу. Залежно від топології мережі використовується той чи інший метод доступу.

Склад основних елементів в мережі залежить від її архітектури. Архітектура - це концепція, що визначає взаємозв'язок, структуру і функції взаємодії робочих станцій в мережі. Вона передбачає логічну, функціональну і фізичну організацію технічних і програмних засобів мережі. Архітектура визначає принципи побудови і функціонування апаратного та програмного забезпечення елементів мережі. В основному виділяють три види архітектур: архітектура термінал-головний комп'ютер, архітектура клієнт-сервер і однорангова архітектура.

Сучасні мережі можна класифікувати за різними ознаками: по віддаленості комп'ютерів, топології, призначенню, переліку послуг, що надаються, принципам управління (централізовані і децентралізовані), методам комутації, методам доступу, видам середовища передачі, швидкостям передачі даних і т. д. Всі ці поняття розглядатимуться докладніше при подальшому вивченні курсу.

## 2.2. Переваги використання мереж

Комп'ютерні мережі являють собою варіант співпраці людей і комп'ютерів, що забезпечує прискорення доставки та обробки інформації. Об'єднувати комп'ютери в мережі почали більше 30 років тому. Коли можливості комп'ютерів вирости і ПК стали доступні кожному, розвиток мереж значно прискорився.

Сполучені в мережу комп'ютери обмінюються інформацією і спільно використовують периферійне устаткування і пристрої зберігання інформації рис. 2.2.

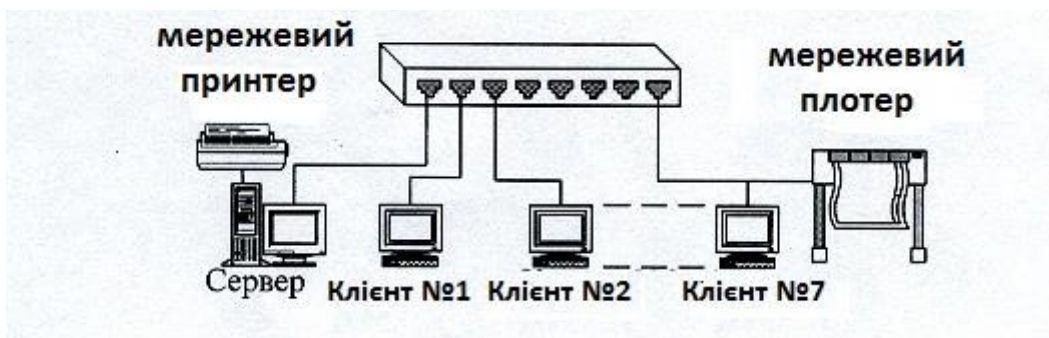


Рис.2.2 Використання периферійного обладнання

За допомогою мереж можна розділяти ресурси і інформацію. Нижче перераховані основні завдання, які вирішуються за допомогою робочої станції в мережі, і які важко вирішити за допомогою окремого комп'ютера:

Комп'ютерна мережа дозволить спільно використовувати периферійні пристрої, включаючи:

- принтери;
- плоттери;
- дискові накопичувачі;
- приводи CD-ROM;
- дисководи;
- стримери;

- сканери;
- факс-модеми;

Комп'ютерна мережа дозволяє спільно використовувати інформаційні ресурси:

- каталоги;
- файли;
- прикладні програми;
- ігри;
- бази даних;
- текстові процесори.

Комп'ютерна мережа дозволяє працювати з розрахованими на багато користувачів програмами, що забезпечують одночасний доступ всіх користувачів до загальних баз даних з блокуванням файлів і записів, які забезпечують цілісність даних. Будь-які програми, розроблені для стандартних ЛВС, можна використовувати в інших мережах. Спільне використання ресурсів забезпечить істотну економію коштів і часу. Наприклад, можна колективно використовувати один лазерний принтер замість покупки принтера кожному співробітнику або біганини з дискетами/дисками/флешками до єдиного принтеру за відсутності мережі.

Організація електронної пошти. Можна використовувати ЛОМ як поштову службу і розсилати службові записки, доповіді та повідомлення іншим користувачам.

### **2.3. Архітектура мереж**

Архітектура мережі визначає основні елементи мережі, характеризує її загальну логічну організацію, технічне забезпечення, програмне забезпечення, описує методи кодування. Архітектура також визначає принципи функціонування та інтерфейс користувача.

В даному курсі буде розглянуто три види архітектур:

- архітектура термінал - головний комп'ютер;
- однорангова архітектура;
- архітектура клієнт - сервер;

### 2.3.1. Архітектура термінал - головний сервер

Архітектура термінал - головний комп'ютер (terminal-host computer architecture) - це концепція інформаційної мережі, в якій вся обробка даних здійснюється одним або групою головних комп'ютерів.

Вже згадана архітектура передбачає два типи устаткування:

- головний комп'ютер, де здійснюється управління мережею, зберігання і обробка даних;
- термінали, призначені для передачі головному комп'ютеру команд на організацію сеансів і виконання завдань, вводу даних для виконання завдань і отримання результатів.

Головний комп'ютер через мультиплексори передачі даних (МПД) взаємодіє з терміналами, як представлено на рис. 2.3. Класичний приклад архітектури мережі з головними комп'ютерами- системна мережева архітектура (System Network Architecture -SNA).

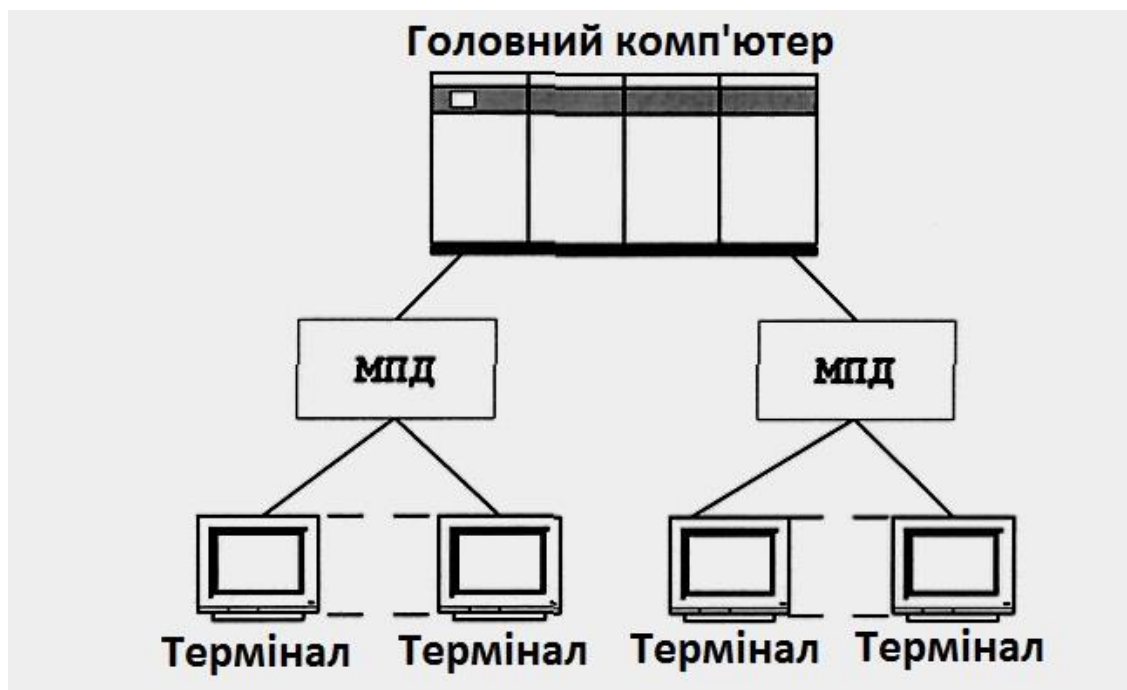


Рис.2.3 Архітектура термінал – головний комп'ютер

### 2.3.2. Однорангова архітектура

Однорангова архітектура (peer-to-peer architecture) – це концепція інформаційної мережі, в якій її ресурси розосереджені по всіх системах. Дана архітектура характеризується тим, що в ній всі системи рівноправні (рис 2.4).

До однорангових мереж відносяться малі мережі, де будь-яка робоча станція може виконувати одночасно функції файлового сервера і робочої

станції. В однорангових мережах дисковий простір і файли на будь-якому комп'ютері можуть бути загальними. Щоб ресурс став загальним, його необхідно віддати в загальне користування, використовуючи служби віддаленого доступу мережеских однорангових операційних систем. Залежно від того, як буде встановлений захист даних, інші користувачі зможуть користуватися файлами відразу ж після їх створення. Однорангові мережі досить гарні тільки для невеликих робочих груп.

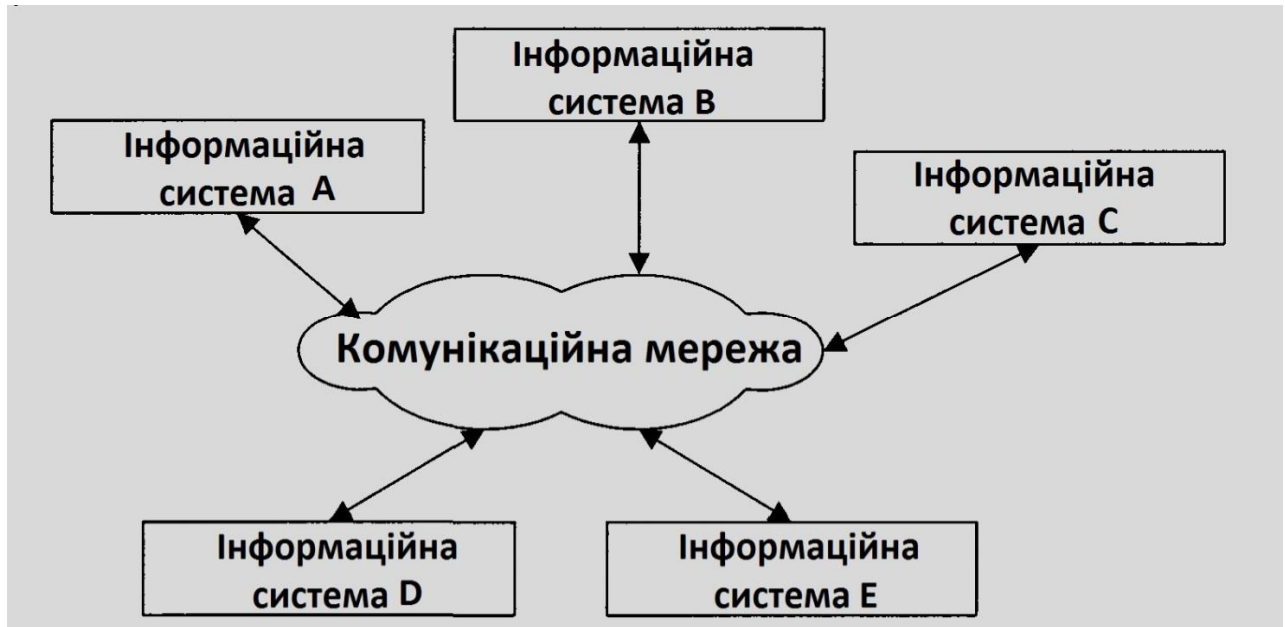


Рис. 2.4 Однорангова архітектура

Однорангові мережі є найбільш легким і дешевим типом мереж для установки. Вони на комп'ютері вимагають, крім мережевої карти і мережевого носія, тільки операційної системи Windows 2000/02 або Windows for Work groups. При з'єднанні комп'ютерів, користувачі можуть надавати ресурси і інформацію в спільне користування.

Однорангові мережі мають такі переваги:

- вони легкі у встановленні і налаштуванні;
- окремі ПК не залежать від виділеного сервера;
- користувачі в змозі контролювати свої ресурси;
- низька ціна і легка експлуатація;
- мінімум обладнання і програмного забезпечення;
- немає необхідності в адміністраторі;
- добре підходять для мереж з кількістю користувачів, яка не перевищує десяти.

Проблемою однорангової архітектури є ситуація, коли комп'ютери відключаються від мережі. У цих випадках з мережі зникають види сервісу, які вони надавали. Мережеву безпеку одночасно можна застосувати тільки до одного ресурсу, і користувач повинен пам'ятати стільки паролів, скільки мережевих ресурсів. При отриманні доступу до ресурсу відчувається падіння продуктивності комп'ютера. Істотним недоліком однорангових мереж є відсутність централізованого адміністрування.

Використання однорангової архітектури не виключає застосування в тій же мережі також архітектури «термінал – головний комп'ютер» чи архітектури «клієнт-сервер».

### 2.3.3. Архітектура клієнт - сервер

Архітектура клієнт - сервер (client-server architecture) – це концепція інформаційної мережі, в якій основна частина її ресурсів зосереджена в серверах, обслуговуючих своїх клієнтів (рис.2.5.).



Рис.2.5 Архітектура клієнт – сервер

Вище згадана архітектура визначає два типи компонентів: *сервери і клієнти*. Сервер - це об'єкт, який представляє сервіс – іншим об'єктам мережі за їхніми запитами. *Сервіс* - це процес обслуговування клієнтів.



Сервер працює за завданнями клієнтів і управляє виконанням їх завдань. Після виконання кожного завдання сервер посилає отримані результати клієнтові, який послав це завдання.

Сервісна функція в архітектурі клієнт - сервер описується комплексом прикладних програм, відповідно до якого виконуються різноманітні прикладні процеси. Процес, який викликає сервісну функцію за допомогою визначених операцій, називається *клієнтом*. Ним може бути програма або користувач. На рис. 2.6 наведено перелік сервісів в архітектурі клієнт-сервер.

Клієнти - це робочі станції, які використовують ресурси сервера і надають зручні інтерфейси користувача. Інтерфейси користувача - це процедури взаємодії користувача з системою або мережею. Клієнт є ініціатором і використовує електронну пошту або інші сервіси сервера. В цьому процесі клієнт надає запит на вид обслуговування, встановлює сеанс, отримує потрібні йому результати і повідомляє про закінчення роботи.

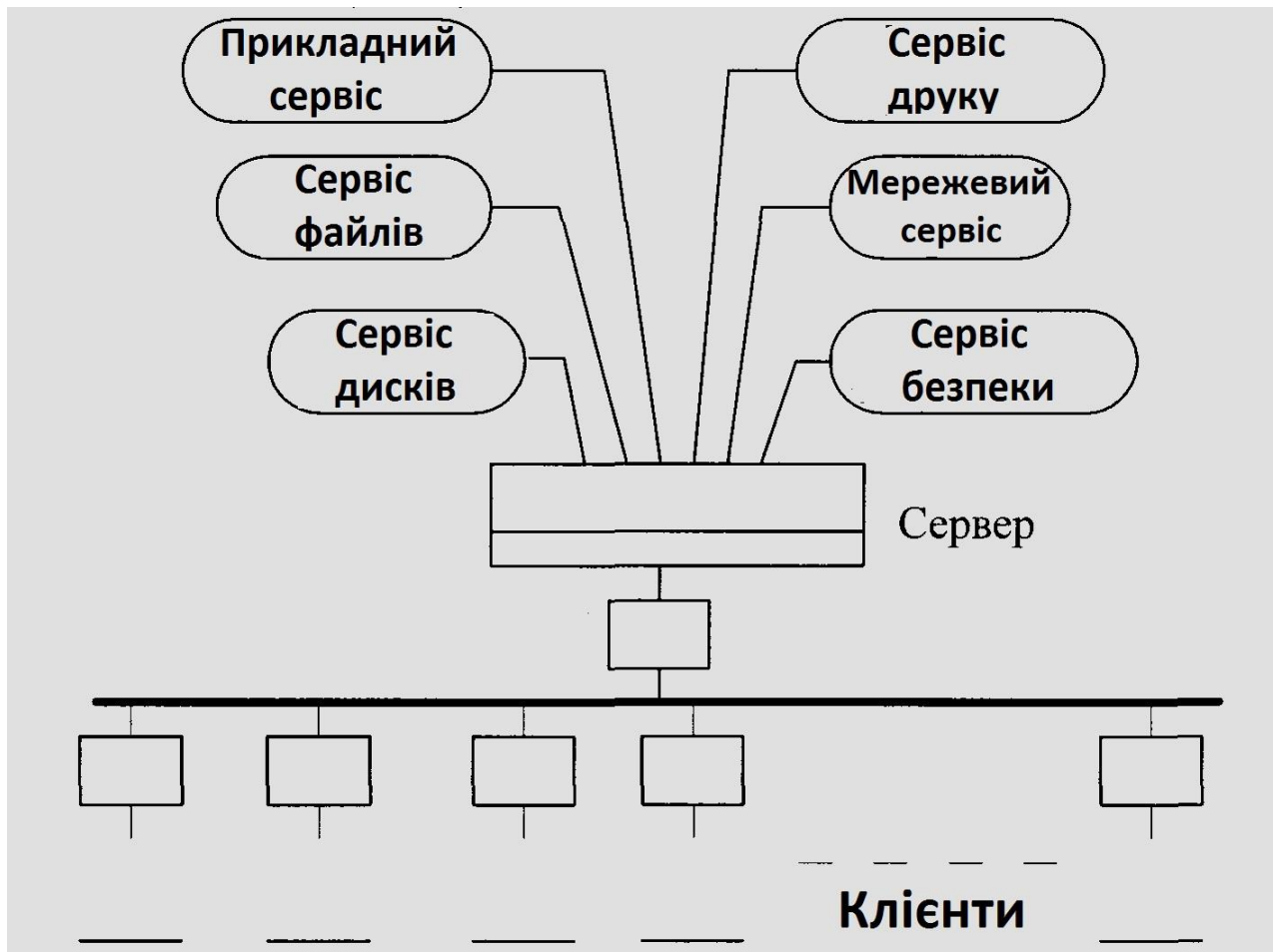


Рис. 2.6 Модель клієнт – сервер

У мережах з виділеним файловим сервером на виділеному автономному ПК встановлюється серверна мережева операційна система. Цей ПК стає *сервером*. Програмне забезпечення (ПЗ), встановлене на робочій станції,



дозволяє їй обмінюватися даними з сервером. Найбільш поширені мережеві операційні системи:

- NetWare фірми Novel;
- WindowsNT фірми Microsoft;
- UNIX фірми AT& T;
- Linux.

Окрім мережевої операційної системи необхідні мережеві прикладні програми, що реалізують переваги, надані мережею. Мережі на базі серверів мають кращі характеристики і підвищену надійність. Сервер володіє головними ресурсами мережі, до яких звертаються інші робочі станції.

У сучасній клієнт - серверній архітектурі виділяється чотири групи об'єктів: клієнти, сервери, дані і мережеві служби. Клієнти розташовуються в системах на робочих місцях користувачів. Дані в основному зберігаються в серверах. Мережеві служби є спільно використовуваними серверами і даними. Крім того служби керують процедурами обробки даних.

Мережі клієнт - серверної архітектури мають такі переваги:

- дозволяють організовувати мережі з великою кількістю робочих станцій;
- забезпечують централізоване управління обліковими записами користувачів, безпекою і доступом, що спрощує мережеве адміністрування;
- ефективний доступ до мережевих ресурсів;
- користувачеві потрібен один пароль для входу в мережу і для отримання доступу до всіх ресурсів, на які поширюються права користувача.

Поряд з перевагами мережі клієнт - серверної архітектури мають і ряд недоліків:

- несправність сервера може зробити мережу непрацездатною, як мінімум призвести до втрати мережевих ресурсів;
- вимагають кваліфікованого персоналу для адміністрування;
- мають вищу вартість мереж і мережевого обладнання.

## **2.4. Вибір архітектури мережі**

Вибір архітектури мережі залежить від призначення мережі, кількості робочих станцій і від виконуваних у ній дій.

Слід вибрати однорангову мережу, якщо:

- кількість користувачів не перевищує десяти;
- всі машини знаходяться близько одна від одної;
- мають місце невеликі фінансові можливості;
- немає необхідності в спеціалізованому сервері, такому як сервер БД, факс-сервер або який-небудь інший;
- немає можливості або необхідності в централізованому адмініструванні.

Слід вибрати клієнт-серверну мережу, якщо:

- кількість користувачів перевищує десять;
- потрібно централізоване управління, безпека, управління ресурсами або резервне копіювання;
- необхідний спеціалізований сервер;
- потрібен доступ до глобальної мережі;
- потрібно розділяти ресурси на рівні користувачів.

## **3. ПОБУДОВА АСУТП НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЇ ВІДКРИТИХ СИСТЕМ**

### **3.1 Особливості АСУТП**

### **3.2 Робота мережі**

### **3.3 Взаємодія рівнів моделі OSI**

### **3.4 Опис рівнів моделі OSI**

Ключові слова: складні системи, робота мережі, модель OSI, рівні моделі OSI.

### **3.1. Особливості АСУТП**

АСУТП відносяться до класу складних систем, яким притаманні такі риси:

- цілеспрямованість і керованість системи, тобто наявність усіх її елементів спільної мети;

- системний характер реалізованих алгоритмів обміну, що вимагає спільної обробки інформації від різних джерел;
- складна ієрархічна організація, яка передбачає поєднання централізованого управління з розподілом і автономністю функціональних підсистем;
- наявність різних способів обробки інформації, самоорганізації і адаптації;
- цілісність і складність поведінки окремих підсистем;
- велика кількість вхідних в систему функціональних підсистем;
- наявність інформаційних зв'язків між функціональними елементами в підсистемах, а також зовнішніх зв'язків з іншими функціональними підсистемами, і широкого спектра дестабілізуючих впливів, перешкод і т.п.

Апаратно-програмну базу АСУТП можна розглядати як особливий клас локальних обчислювальних систем (ЛВС).

Найважливішими властивостями відкритої ЛВС будуть:

- мобільність прикладних програм - можливість перенесення програм з однієї апаратної платформи на іншу з мінімальними доробками або навіть без них;
- мобільність персоналу, тобто можливість підготовки персоналу для роботи з системою з мінімальними тимчасовими і трудовитратами;
- чіткі умови взаємодії частин системи і мереж з використанням відкритих специфікацій.

При їх побудові застосовується архітектурний підхід. Під архітектурою будемо розуміти функціональні, логічні, фізичні принципи організації мережі, що використовують архітектуру відкритих систем (OSI – open system sinter connection).

### **3.2. Робота мережі.**

Полягає в передачі даних від одного комп'ютера до іншого. У цьому процесі виділяють завдання:

- розпізнавання даних;
- розбиття даних на керовані блоки;
- додавання інформації до кожного блоку, щоб вказатимісцезнаходження даних і одержувача;

- додавання інформації для синхронізації і перевірки помилок;
- розміщення даних в мережі і відправка їх по заданому адресу.

Мережеві операційні системи (ОС) при виконанні всіх задач слідуєть суворому набору процедур. Ці процедури називаються протоколами або правилами поведінки. Протоколи регламентують кожен мережеву операцію.

Стандартні протоколи дозволяють програмному і апаратному забезпеченню різних виробників нормально функціонувати. Існує два головних набори стандартів: модель OSI і її модифікація - Project 802.

У 1984 р ISO (міжнародна організація стандартів) випустила еталонну модель взаємодії відкритих систем (Open System Interconnection). Ця версія стала міжнародним стандартом: саме її специфікації використовують виробники при розробці мережевих продуктів, саме її дотримуються при побудові мереж.

Ця модель - широко поширений метод опису мережевих середовищ. Будучи багаторівневою системою, вона відображає взаємодію програмного і апаратного забезпечення при здійсненні сеансу зв'язку. У моделі OSI мережеві функції розподілені між 7-ма рівнями. Кожному рівню відповідають різні мережеві операції, обладнання та протоколи.

7. Прикладний рівень

6. Представницький рівень.

5. Сеансовий рівень.

4. Транспортний рівень.

3. Мережевий рівень.

2. Канальний рівень.

1. Фізичний рівень.

На кожному рівні виконуються певні мережеві функції, які взаємодіють з функціями сусідніх рівнів. Кожен рівень являє собою декілька послуг (операцій), які підготовляють дані для доставки по мережі на інший комп'ютер. Рівні відокремлюються одна від одної межами - інтерфейсами. Всі запити від одного рівня до іншого передаються через інтерфейс. Кожен рівень використовує послуги нижчого рівня.

### **3.3. Взаємодія рівнів моделі OSI**

Завдання кожного рівня це надання послуг вищому рівневі, "маскуючи" деталі реалізації цих послуг. При цьому кожен рівень на одному комп'ютері працює так, ніби він безпосередньо пов'язаний з таким же рівнем на іншому комп'ютері. Це логічний, або віртуальний зв'язок між однаковими рівнями. Насправді зв'язок здійснюється між суміжними рівнями одного комп'ютера - програмне забезпечення (ПЗ), працююче на кожному рівні, реалізує певні мережеві функції відповідно до набором протоколів.

Перед подачею в мережу дані розбиваються на пакети. Пакет - це одиниця інформації, що передається між пристроями мережі як єдине ціле. Пакет проходить через всі рівні ПЗ. На кожному рівні до пакету додається деяка інформація, форматована або адресна, яка необхідна для успішної передачі по мережі. На приймаючій стороні пакет проходить через всі рівні в зворотному порядку. ПЗ на кожному рівні зчитує інформацію пакету, потім видаляє інформацію, додану до пакету на цьому рівні, стороною що відправляє, і передає пакет наступному рівню. Коли пакет дійде до Прикладного рівня, вся адресна інформація буде видалена, і дані набудуть свого первісного вигляду.

Таким чином, за винятком самого нижнього рівня мережевої моделі, ніякий інший рівень не може безпосередньо послати інформацію відповідного рівня іншому комп'ютеру. Інформація на комп'ютері - відправника повинна пройти через всі рівні. Потім вона передається по мережевому кабелю на комп'ютер - одержувач і знову проходить крізь усі шари, покине досягне того ж рівня, з якого вона була надіслана на комп'ютері - відправнику.

Взаємодія суміжних рівнів здійснюється через інтерфейс. Інтерфейс визначає послуги, які нижній рівень надає верхньому і спосіб доступу до них.

### **3.4. Опис рівнів моделі OSI.**

#### **Рівень № 1. Фізичний (physical).**

Здійснює передачу неструктурованого "сирого" потоку бітів по фізичному середовищі. Тут реалізується електричний, оптичний, механічний і функціональний інтерфейс з кабелем. ФР також формує сигнали, які переносять дані від всіх вищих рівнів.

На цьому рівні визначається спосіб з'єднання мережевого кабелю з платою мережевого адаптера, зокрема, кількість контактів і їх функції. Крім того, тут визначається спосіб передачі даних по мережевому кабелю.

ФР призначений для передачі бітів (0 і 1) від одного комп'ютера до іншого. Зміст самих бітів на даному рівні значення не має. Цей рівень відповідає за кодування даних і синхронізацію бітів, гарантуючи, що передана одиниця буде сприйнята саме як 1, а не як 0. ФР встановлює тривалість кожного біта і спосіб перевodu біта у відповідні електричні або оптичні імпульси, що передаються по мережевому кабелю.

ФР описує фізичне середовище, що складає мережу: мідні дроти, оптоволокло, космічні супутники, пасивні та активні концентратори, пристрої зв'язку, кабелі та кабельну мережу, роз'єми, мультиплексори, трансмітери.

На ФР визначаються наступні елементи:

- типи з'єднання з мережею (багатоточкові і двоточкові);
- фізична топологія (схема мережі): шинна, кільцева, зіркоподібна;
- аналогова і цифрова передача сигналів, включаючи різні методи кодування даних;
- синхронізація бітів між відправником і отримувачем;
- передача в основній смузі частот і широкосмугова передача - різні методи використання смуги пропускання;
- мультиплексування - комбінація декількох каналів передачі даних в один.

## **Рівень №2. Канальний рівень (Datelink)**

Здійснює передачу кадрів даних від Мережевого рівня (MP) до Фізичного. Кадри - це логічно організована структура, в яку можна поміщати дані. Канальний рівень комп'ютера- одержувача упаковує "сирий" потік бітів, що надходять від ФР, в кадри даних.

КР забезпечує точність передачі кадрів між комп'ютерами через ФР. Це дозволяє MP зчитувати передачу даних з мережевого з'єднання фактично безпомилково.

Коли КР посилає кадр, він очікує з боку одержувача підтвердження прийому. КР одержувача перевіряє наявність можливих помилок передачі. Кадри, пошкоджені при передачі, або кадри, отримання яких не підтверджено, надсилаються вдруге.

Крім даних, в кожному пакеті міститься адресна інформація і, іноді, запис про кількість даних в пакеті. Таким чином, мережа може дізнатися про втрату частини даних. Зміст і структура пакетів залежить від типу мережі. Тому, якщо

в мережі використовуються два протоколи канального рівня (наприклад, Ethernet і Token Ring), то для того, щоб вони могли взаємодіяти між собою, слід використовувати міст.

Пристрої, що асоціюються з КР являють собою мости, інтелектуальні концентратори і плати мережевого інтерфейсу.

### **Рівень №3. Мережевий рівень (Network)**

Відповідає за адресацію повідомлень і переклад логічних адрес і імен у фізичні адреси. Виходячи з конкретних мережевих умов, пріоритету послуги та інших факторів тут визначається маршрут від комп'ютера - відправника до комп'ютера - одержувачу. На цьому рівні вирішуються такі завдання, пов'язані з мережевим трафіком, як комутація пакетів, маршрутизація і перевантаження.

Якщо мережевий адаптер маршрутизатора не може передавати великі блоки даних, послані комп'ютером - відправником, на мережевому рівні ці блоки розбиваються на менші, а Мережевий рівень комп'ютера - одержувача збирає ці дані в початковий стан.

Протоколи МР відповідають за визначення найкращого шляху маршрутизації даних між комп'ютерами. Визначаються мережеві адреси, такі як ІР (частина протоколу ТСП/ІР). Оптимальний шлях доставки інформації з одного сегмента мережі в іншій визначають маршрутизатори. Протоколи не відповідають за доставку даних по кінцевій адресі, а тільки знаходять найкращий шлях.

### **Рівень 4. Транспортний рівень (Transport)**

Забезпечує додатковий рівень з'єднання – нижче сеансового рівня. ТР гарантує доставку пакетів без помилок, в тій же послідовності, без втрат і дублювання. На цьому рівні повідомлення переупаковуються: довгі розбиваються на кілька пакетів, а короткі об'єднуються в один. Це збільшує ефективність передачі пакетів по мережі. На ТР комп'ютера - одержувача повідомлення розпаковуються, відновлюються в первісному вигляді, і надсилається сигнал підтвердження прийому. ТР управляє потоком, перевіряє помилки і бере участь у вирішенні проблем, пов'язаних з відправленням і отриманням пакетів.

Протоколи транспортного рівня, такі як SPX або ТСП відповідають за передачу даних по логічним адресами, визначеним протоколами мережевого рівня.

## **Рівень 5. Сеансовий рівень (Session)**

Дозволяє двом додаткам на різних комп'ютерах встановлювати, використовувати і завершувати з'єднання, зване сеансом. На цьому рівні виконуються такі функції, як розпізнавання імен та захист, необхідні для зв'язку двох додатків в мережі.

СР забезпечує синхронізацію між призначеними для користувача завданнями за допомогою розстановки в потоці даних контрольних точок. Таким чином, в разі мережевої помилки, потрібно заново передати тільки дані, які йдуть за останньою контрольною точкою. На цьому рівні виконується управління діалогом між взаємодіючими процесами, тобто регулюється яка із сторін здійснює передачу, коли, як довго і т.д.

Служби сеансового рівня представляє NetBIOS.

## **Рівень 6. Представницький рівень (Presentation)**

Визначає формат, який використовується для обміну даними між мережевими комп'ютерами. Цей рівень можна назвати перекладачем. На комп'ютері-відправнику дані, що надійшли від прикладного рівня, на цьому рівні переводяться в загально зрозумілий проміжний формат. На комп'ютері-одержувачі на цьому рівні відбувається переклад з проміжного формату в той, який використовується прикладним рівнем даного комп'ютера. ПР відповідає за перетворення протоколів, трансляцію даних, їх шифрування, зміну або перетворення застосовуваного набору символів (кодової таблиці і розширення графічних команд). ПР, крім того, керує стисненням даних для зменшення переданих бітів.

На цьому рівні працює утиліта, яка називається редиректором. Її призначення - переадресовувати операції введення / виводу до ресурсів сервера.

## **Рівень 7. Прикладний рівень (Application)**

Являє собою вікно для доступу прикладних програм до послуг мережі. Цей рівень забезпечує послуги, що безпосередньо підтримують програми користувача, такі як програмне забезпечення для передачі файлів, доступу до баз даних і електронна пошта. Перелічені нижче рівні підтримують завдання, виконувані на ПрР. ПрР управляє загальним доступом до мережі, потоком даних і обробкою помилок.



## 4.ТОПОЛОГІЯ МЕРЕЖІ

### 4.1 Види мереж

### 4.2 Топологія типу «зірка»

### 4.3 Кільцева топологія

### 4.4 Шинна топологія

### 4.5 Вибір топології

### 4.6 Деревовидна структура локальної мережі

Ключові слова: локальна мережа, топологія, «зірка», «шина», «кільце», деревоподібна структура.

#### 4.1. Види мереж

Спосіб з'єднання комп'ютерів в мережі називається *топологією*. Існують наступні видимереж:

- LAN (Local Area Network);
- MAN (Metropolitan Area Network);
- WAN (Wide Area Network);
- GAN (Global Area Network).

В даному курсі будемо розглядати тільки локальні мережі.

*Локальна мережа* являє собою з'єднання декількох комп'ютерів за допомогою відповідного апаратного і програмного забезпечення.

Переваги від мережі:

- розподіл даних. Дані в мережі зберігаються на центральному комп'ютері (К) і можуть бути доступні для будь-якого К, підключеного до мережі. Тому не треба на кожному робочому місці мати накопичувачі для зберігання однієї і тієї ж інформації.
- розподіл ресурсів. Периферійні пристрої можуть бути доступні для всіх користувачів мережі (факс, принтер і ін.);
- розподіл програм. Всі користувачі мережі можуть мати доступ до програм, які були один раз централізовано встановлені. При цьому повинна працювати мережева версія відповідних програм;

- електронна пошта. Всі користувачі мережі можуть передавати або приймати повідомлення.

Центральний комп'ютер всієї локальної мережі називається файловий сервер (сервер). Інші комп'ютери робочі станції - клієнти.

#### **4.2. Топологія типу «зірка».**

Концепція топології мережі у вигляді *зірки* прийшла з області великих ЕОМ, у якій головна машина одержує й обробляє всі дані з периферійних пристроїв як активний вузол обробки даних. Цей принцип застосовується в системах передачі даних, наприклад, в електронній пошті мережі Relcom. Вся інформація між двома периферійними робочими місцями проходить через центральний вузол обчислювальної мережі.

Пропускна здатність мережі визначається обчислювальною потужністю вузла і гарантується для кожної робочої станції. Колізій (зіткнень) даних не виникає.

Кабельне з'єднання досить просте, тому що кожна робоча станція пов'язана з вузлом. Витрати на прокладку кабелів високі, особливо коли центральний вузол географічно розташований не в центрі топології.

При розширенні обчислювальних мереж не можуть бути використані раніше виконані кабельні зв'язки: до нового робочого місця необхідно прокладати окремий кабель з центру мережі.

Топологія у вигляді зірки (рис.4.1) є найбільш швидкодіючою з усіх топологій обчислювальних мереж, оскільки передача даних між робочими станціями проходить через центральний вузол (при його гарній продуктивності) по окремих лініях, що використовуються тільки цими робочими станціями. Частота запитів передачі інформації від однієї станції до іншої невисока в порівнянні з тією, що досягається в інших топологіях.

Продуктивність обчислювальної мережі в першу чергу залежить від потужності центрального файлового сервера. Він може бути вузьким місцем обчислювальної мережі. У разі виходу з ладу центрального вузла порушується робота всієї мережі.

Центральний вузол керування - файловий сервер реалізує оптимальний механізм захисту проти несанкціонованого доступу до інформації. Вся обчислювальна мережа може управлятися з її центру.

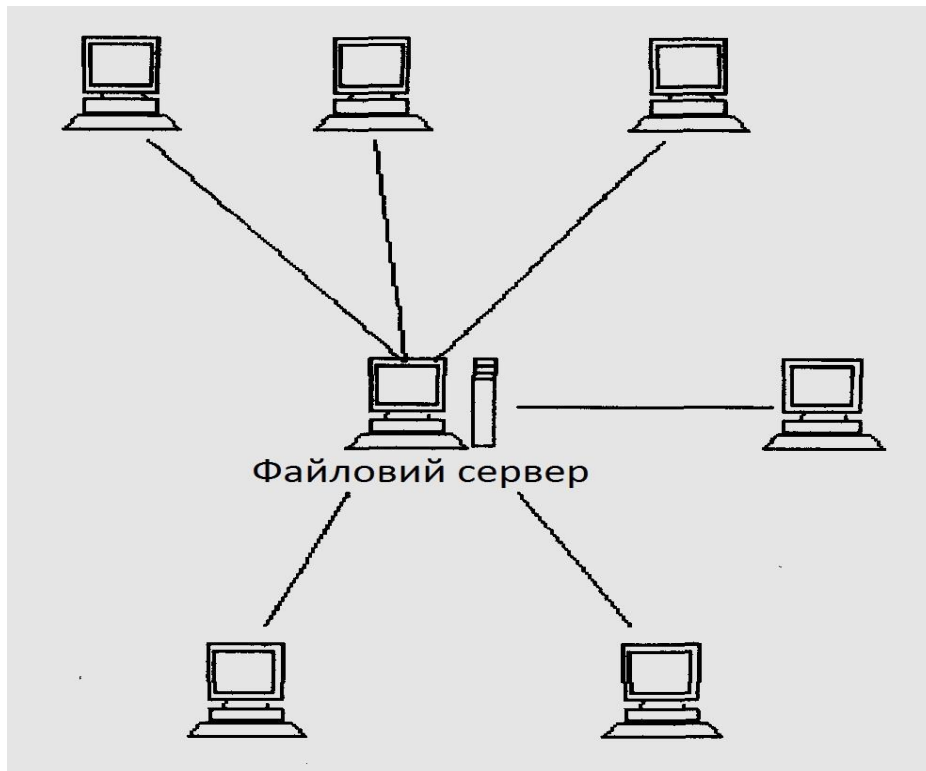


Рис. 4.1 Топологія зірка

Мережа типу зірка має переваги:

- пошкодження кабелю є проблемою для одного конкретного комп'ютера і в цілому не позначається на роботі мережі;
- просто виконується підключення, так як робоча станція (РС) повинна з'єднуватися тільки з сервером;
- надійний механізм захисту від несанкціонованого доступу;
- висока швидкість передачі даних від робочої станції до сервера.

Недоліки:

- якщо сервер знаходиться не в центрі мережі, то підключення до нього віддалених станцій може бути дорогим;
- передача даних від робочих станцій до сервера і назад відбувається швидко. А швидкість передачі даних між окремими робочими станціями мала;
- потужність всієї мережі залежить від можливостей сервера. Якщо він недостатньо оснащений або погано налаштований, то буде являтися гальмом для всієї системи.
- неможлива комунікація між окремими РС без сервера.

### 4.3 Кільцева топологія.

При кільцевій топології мережі робочі станції пов'язані одна з іншою по кільцю, тобто робоча станція 1 з робочою станцією 2, робоча станція 3 з робочою станцією 4 і т.д. Остання робоча станція пов'язана з першою. Комунікаційний зв'язок замикається в кільце (рис.4.2).

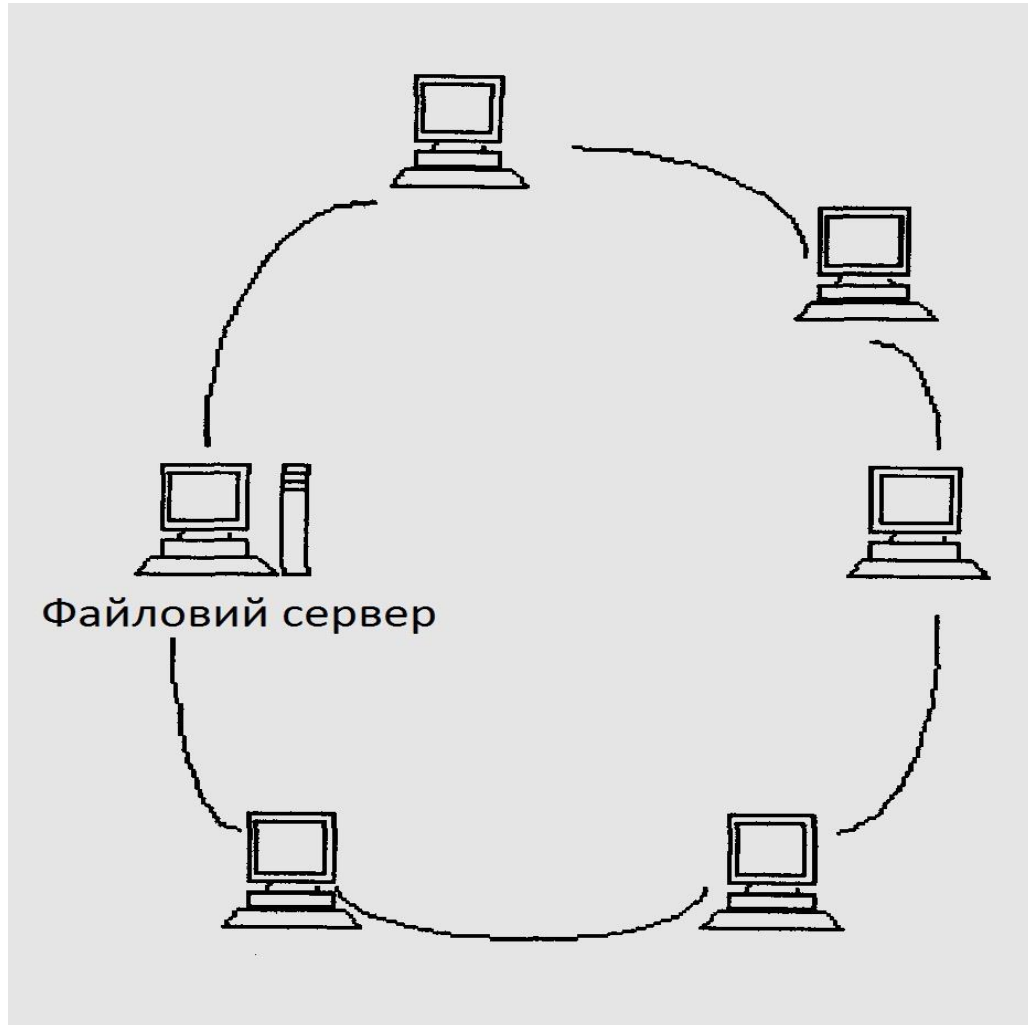


Рис.4.2 Кільцева топологія

Прокладка кабелів від однієї робочої станції до іншої може бути досить складною і дорогою, особливо якщо географічне розташування робочих станцій далеко від форми кільця (наприклад, в лінію). Повідомлення циркулюють регулярно по колу. Робоча станція посилає по визначеній кінцевій адресі інформацію, попередньо отримавши з кільця запит. Пересилання повідомлень є дуже ефективним, тому що більшість повідомлень можна відправляти «в дорогу» по кабельній системі одне за іншим. Дуже просто можна зробити кільцевий запит на всі станції. Тривалість передачі інформації збільшується пропорційно кількості робочих станцій, що входять в обчислювальну мережу.

Основна проблема при кільцевій топології полягає в тому, що кожна робоча станція повинна активно брати участь в пересилання інформації, і в разі

виходу з ладу хоча б однієї з них вся мережа паралізується. Несправності в кабельних з'єднаннях локалізуються легко. Підключення нової робочої станції вимагає короткострокового вимикання мережі, тому що під час установки кільце повинне бути розімкнуте. Обмеження на довжину обчислювальної мережі неіснує, так як воно, в кінцевому рахунку, визначається виключно відстанню між двома робочими станціями.

Спеціальною формою кільцевої топології є логічна кільцева мережа (рис 4.3).

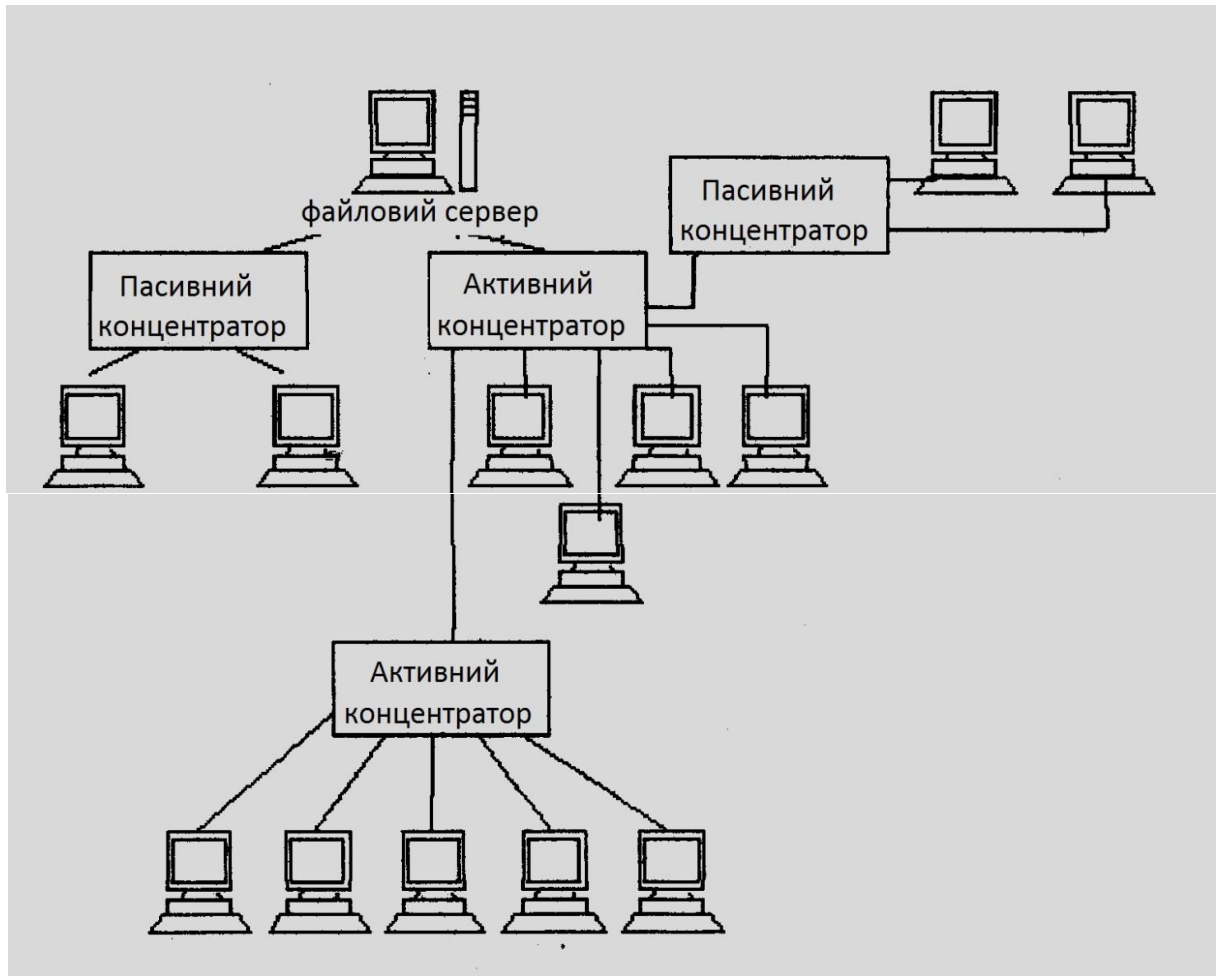


Рис.4.3 Кільцева логічна топологія

Фізично вона монтується як з'єднання зіркових топологій. Окремі зірки включаються за допомогою спеціальних комутаторів (англ. Hub - концентратор), які українською також іноді називають «хаб». Залежно від числа робочих станцій і довжини кабелю між робочими станціями застосовують активні або пасивні концентратори. Активні концентратори додатково містять підсилювач для підключення від 4 до 16 робочих станцій. Пасивний концентратор є виключно розгалужувальним пристроєм (максимум на три робочі станції). Управління окремою робочою станцією в логічній кільцевій мережі відбувається так само, як і в звичайній кільцевій мережі. Кожній робочій станції присвоюється відповідний їй адрес, за яким передається

керування (відстаршого до молодшого і від самого молодшого до самого старшого). Розрив з'єднання відбувається тільки для нижче розташованого (найближчого) вузла обчислювальної мережі, так що лише в рідкісних випадках може порушуватися робота всієї мережі.

#### Переваги:

- оскільки інформація постійно циркулює по колу між послідовно з'єднаними комп'ютерами, то істотно скорочується час доступу до цих даних;
- немає обмежень на довжину всієї мережі, то в мережі має значення тільки відстань між окремими комп'ютерами.

#### Недоліки:

- час передачі даних збільшується пропорційно числу з'єднаних в кільце комп'ютерів;
- кожна робоча станція причетна до передачі даних. Вихід з ладу однієї станції може паралізувати всю мережу, якщо невикористовуються спеціальні перехідні з'єднання;
- при підключенні нових робочих станцій мережа повинна бути короткочасно вимкнена.

### **4.4 Шинна топологія.**

При шинній топології середовище передачі інформації представляється в формі комунікаційного шляху, доступного для всіх робочих станцій, до якого вони повинні бути підключені. Всі робочі станції можуть безпосередньо вступати в контакт з будь-якою робочою станцією, наявною в мережі. Робочі станції в будь-який час без переривання роботи всієї обчислювальної мережі, можуть бути підключені до неї або відключені. Функціонування обчислювальної мережі не залежить відстану окремої робочої станції.

У стандартній ситуації для шинної мережі Ethernet часто використовують тонкий кабель або Cheapernet-кабель з трійниковим з'єднувачем. Відключення і особливо підключення до такої мережі вимагають розриву шини, що викликає порушення циркулюючого потоку інформації і зависання системи. Нові технології пропонують пасивні штепсельні коробки, через які можна відключати і / або підключати робочі станції під час роботи обчислювальної мережі.



Рис.4.4. Структура шинної топології

Завдяки тому, що робочі станції можна підключати без переривання мережних процесів і комунікаційного середовища, дуже легко прослуховувати інформацію, тобто відгалужувати інформацію з комунікаційного середовища.

У ЛВС з прямою (не модульованою) передачею інформації завжди може існувати тільки одна станція, що передає інформацію. Для запобігання колізій у більшості випадків застосовується часовий метод поділу, згідно з яким для кожної підключеної робочої станції в певні моменти часу надається виключне право на використання каналу передачі даних. Тому вимоги до пропускну здатності обчислювальної мережі при підвищеному навантаженні підвищуються, наприклад, при введенні нових робочих станцій. Робочі станції приєднуються до шини за допомогою пристроїв ТАР (англ. Terminal Access Point - точка підключення терміналу). ТАР являє собою спеціальний тип з'єднання до коаксіального кабелю. Зонд голчастого форми впроваджується через зовнішню оболонку зовнішнього провідника і шар діелектрика до внутрішнього провідника і приєднується до нього.

У ЛВС з модульованою широкопasmовою передачею інформації різні робочі станції отримують, у міру потреби, частоту, на якій робочі станції можуть відправляти і отримувати інформацію. Дані, що пересилаються, модулюються на відповідних несучих частотах, тобто між середовищем передачі інформації і робочими станціями знаходяться відповідно модеми для модуляції і демодуляції. Техніка широкопasmових повідомлень дозволяє одночасно транспортувати в комунікаційному середовищі досить великий обсяг інформації.

Для подальшого розвитку дискретного транспортування не грає ролі, яка первинна інформація подана в модем (аналогова або цифрова), так як вона все одно надалі буде перетворена.

### Переваги:

- невеликі витрати на кабель;
- робочі станції в будь-який момент часу можуть бути встановлені або відключені без переривання роботи всієї мережі;
- робочі станції можуть комутуватися без сервера.

### Недоліки:

- при обриві кабелю виходить з ладу вся ділянка від місця розриву;
- можливість несанкціонованого підключення до мережі, оскільки для збільшення числа РС немає необхідності в перериванні роботи мережі.

## **4.5. Вибір топології**

Існує безліч факторів, які необхідно враховувати при виборі найбільш придатної до даної ситуації топології (див. табл. 4.1)

Таблиця 4.1. Основні характеристики топологій обчислювальних мереж.

| Характеристики                               | Топологія обчислювальних мереж |            |           |
|--|--------------------------------|------------|-----------|
|  | Зірка                          | Кільце     | Шина      |
| Вартість розширення                          | Незначна                       | Середня    | Середня   |
| Приєднання абонентів                         | Пасивне                        | Активне    | Пасивне   |
| Захист від відмов                            | Незначний                      | Незначний  | Високий   |
| Розмір системи                               | Будь-які                       | Будь-які   | Обмежені  |
| Захист від прослуховування                   | Добрий                         | Добрий     | Незначний |
| Вартість підключення                         | Незначна                       | Незначна   | Висока    |
| Поведінка системи при високих навантаженнях  | Хороша                         | Задовільна | Погана    |
| Можливість працювати в режимі реального часу | Дуже хороша                    | Хороша     | Погана    |
| Розводка кабеля                              | Хороша                         | Задовільна | Хороша    |
| Обслуговування                               | Дуже хороше                    | Середнє    | Середнє   |

## **4.6. Деревовидна структура ЛВС.**

Поряд з відомими топологіями обчислювальних мереж «кільце», «зірка» «шина», на практиці застосовується і комбінована, наприклад деревоподібна (рис.4.5). Вона утворюється в основному у вигляді комбінацій вище згаданих топологій обчислювальних мереж. Основа дерева обчислювальної мережі (корінь) розташовується в точці, в якій збираються комунікаційні лінії інформації (гілки дерева).



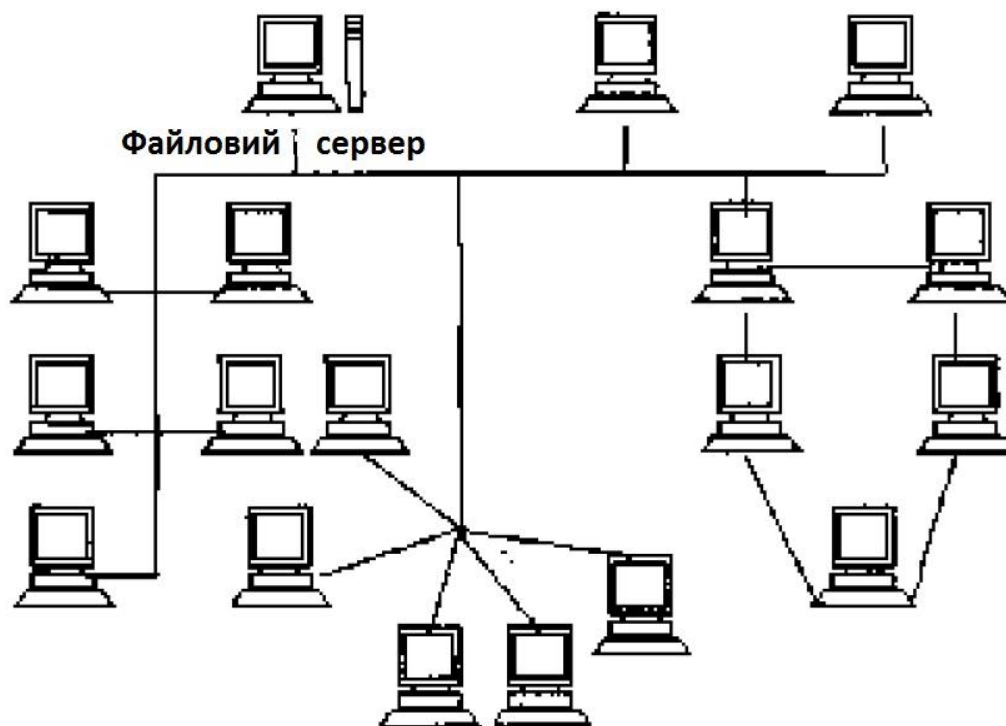


Рис.4.5. Деревовидна структура ЛВС

Обчислювальні мережі з деревоподібною структурою застосовуються там, де неможливе безпосереднє застосування базових мережних структур в чистому вигляді. Для підключення великої кількості робочих станцій відповідно адаптерним платам застосовують мережеві підсилювачі і/або комутатори. Комутатор, що володіє одночасно і функціями підсилювача, називають активним концентратором.

На практиці застосовують два їх різновиди, що забезпечують підключення відповідно восьми або шістнадцяти ліній. Пристрій, до якого можна приєднати максимум три станції, називають пасивним концентратором. Пасивний концентратор зазвичай використовують як розгалужувач. Він не потребує підсилювача. Передумовою для підключення пасивного концентратора є те, що можлива максимальна відстань до робочої станції не повинна перевищувати декількох десятків метрів.

## **5 КОМПОНЕНТИ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ**

5.1 Склад локальної мережі

5.2 Файловий сервер

5.3 Робочі станції

5.4 Мережеві адаптери

5.5 Мережеві програмні засоби

5.6 Кабелі

Ключові слова: абонентські системи, мережеве обладнання, мережеві операційні системи, комунікаційні канали, мережеве програмне забезпечення, робочі станції, файловий сервер, мережевий адаптер, кабелі.

### **5.1. Склад локальної мережі**

Локальна мережа складається з трьох основних апаратних компонентів і двох програмних, які повинні працювати узгоджено. Для коректної роботи пристроїв у мережі їх потрібно правильно інсталиувати і встановити робочі параметри.

Основними апаратними компонентами мережі є такі:

1). Абонентські системи:

- комп'ютери (робочі станції або клієнти і сервери);
- принтери;
- сканери та ін.

2). Мережеве обладнання:

- мережеві адаптери;
- концентратори (хаби);
- мости;
- маршрутизатори та ін.

3). Комунікаційні канали:

- кабелі;
- роз'єми;

- пристрої передачі і прийому даних в бездротових технологіях.

Основними програмними компонентами мережі є наступні:

1). Мережеві операційні системи, де найбільш відомі з них це:

- Windows NT;
- Windows for Workgroups;
- LANtastic;
- NetWare;
- Unix;
- Linux і т.д.

2). Мережеве програмне забезпечення (мережеві служби):

- клієнт мережі;
- мережева карта;
- протокол;
- служба віддаленого доступу.

Локальна мережа - це сукупність комп'ютерів, каналів зв'язку, мережевих адаптерів, що працюють під управлінням мережевої операційної системи і мережевого програмного забезпечення.

У ЛВС кожен ПК називається робочою станцією, за винятком одного або кількох комп'ютерів, які призначені для виконання функцій.

## **5.2. Файловий сервер (ФС).**

Йому в мережі належить центральна роль і тому повинен використовуватися досить потужний комп'ютер з розвиненою периферією в залежності від числа підключених робочих станцій (Pentium). Комп'ютер з шинами EISA, MCA, VLB, PCI гарантує більш швидку передачу даних, ніж шина ISA. ФС надає засоби, що дозволяють користувачам мережі спільно працювати з файлами. Файловий сервіс реалізується з допомогою мережевих додатків з функціями зберігання, видалення та переміщення даних. В даний час існують такі популярні ФС: Windows NT, Windows Server, Net Ware, Banyan VINES.

Типи файлового сервісу:

- передача файлів;
- зберігання файлів і перенесення даних;
- синхронізація файлів при оновленні;
- архівування файлів;

Передача файлів - користувачі пересилають файли між клієнтами і серверами. Кожна мережева операційна система (ОС) має свій рівень захисту файлів.

Зберігання файлів і перенесення даних. Адміністратор повинен знаходити найбільш прийнятний і ефективний спосіб зберігання всіх даних. Існують три основні категорії пристроїв для зберігання: офлайнові (автономні), он-лайн (неавтономні); напівавтономні.

Неавтономні пристрої являють собою жорсткі диски. Інформацію з них можна отримувати дуже швидко. Пам'ять дорога. Диски можна часто міняти.

В автономних пристроях використовуються магнітні стрічки і змінні оптичні диски. Вміщають великі обсяги інформації. Недолік - необхідність їх установки на комп'ютер. Напівавтономні пристрої недорогі і вміщають великі обсяги інформації. Установка їх відбувається автоматично.

Синхронізація файлів при оновленні необхідна для забезпечення наявності у кожного користувача останньої версії файлу (Ф). Відстежуючи мітку дати/часу Ф і імена користувачів, синхронізація Ф гарантує внесення в них змін в хронологічному порядку і правильне оновлення.

Архівування файлів - це процес резервного копіювання на автономні пристрої.

Крім файлових серверів існують:

- сервери друку;
- сервери додатків;
- сервери повідомлень;
- сервери баз даних.

### **5.3. Робочі станції (РС).**

Їх оснащення в мережі залежить від сервера. Якщо ФС виділена центральна роль, то в якості РС можуть використовуватися менш потужні машини.

В одноранговій мережі, чим кращі окремі станції, тим кращий розподіл ресурсів всередині всієї мережі. Дорогі периферійні пристрої (модеми, факси, принтери, жорсткі змінні диски іт.д.) необхідно встановлювати на одній робочій станції (ресурси доступні всім користувачам).

Робоча станція (workstation) - це абонентська система, спеціалізована для вирішення певних завдань і яка використовує мережеві ресурси. До мережевого програмного забезпечення робочої станції відносяться такі служби:

- клієнт для мереж;
- служба доступу до файлів і принтерів;
- мережеві протоколи для даного типу мереж;
- мережева плата;
- контролер віддаленого доступу.

Робоча станція відрізняється від звичайного автономного персонального комп'ютера наступним:

- наявністю мережевої карти (мережевого адаптера) і каналу зв'язку;
- на екрані під час завантаження ОС з'являються додаткові повідомлення, які інформують про те, що завантажуються мережева операційна система;
- перед початком роботи необхідно повідомити мережевому програмному забезпеченню ім'я користувача і пароль. Це називається процедурою входу в мережу;
- після підключення до ЛВС з'являються додаткові мережеві дискові накопичувачі;
- з'являється можливість використання мережевого обладнання, яке може перебувати далеко від робочого місця.

#### **5.4. Мережеві адаптери.**

Комп'ютери в мережу підключаються з допомогою плат мережевих адаптерів. Плата мережевого адаптера в поєднанні з драйвером забезпечує виконання функцій протоколів канального рівня, що використовуються комп'ютером, підключеним до мережі, такої як Ethernet або Token Ring, а також частини функцій Фізичного рівня. Крім цього мережевий адаптер встановлює зв'язок між протоколом Мережевого рівня, який цілком і повністю реалізується засобами операційної системи, і мережевим середовищем передачі даних, що в більшості випадків є кабелем, приєднаним до адаптера. Робоча станція

відправляє запит через мережевий адаптер до файлового сервера і отримує відповідь через мережевий адаптер, коли файловий сервер готовий. Мережеві адаптери разом з мережевим програмним забезпеченням здатні розпізнавати і обробляти помилки, які можуть виникнути через електричні перешкоди, колізії чи погану роботу обладнання.

Останні типи мережевих адаптерів підтримують технологію Plug and Play (вставляй і працюй). Якщо мережеву карту встановити в комп'ютер, то при першому завантаженні система визначить тип адаптера і запросить йому драйвери.

Різні типи мережевих адаптерів відрізняються не тільки методами доступу до каналу зв'язку та протоколами, але ще і наступними параметрами:

- швидкість передачі;
- об'єм буфера для пакета;
- тип шини;
- швидкодія шини;
- сумісність з різними мікропроцесорами;
- використання прямого доступу до пам'яті (DMA);
- адресація портів введення / виводу і запитів переривання;
- конструкція роз'єму.

Мережевий адаптер і його драйвер здійснюють основні функції, необхідні для доступу комп'ютера до мережі. Процес пересилання даних складається з наступних кроків (які, природно, при отриманні пакету розташовуються в зворотному порядку).

**5.4.1. Передача даних.** Дані, розміщені в оперативній пам'яті комп'ютера, передаються до мережевого адаптера через системну шину. При цьому застосовується одна з таких технологій: прямий доступ до пам'яті (DMA - direct memory access), загальна пам'ять або програмоване введення / виведення.

**5.4.2. Розміщення даних в буфері.** Швидкість, з якою комп'ютер обробляє інформацію, відрізняється від швидкості передачі даних по мережі. Як наслідок, плата мережевого адаптера містить буфери пам'яті, які використовуються для накопичення і зберігання даних з тією метою, щоб ці дані можна було обробляти порціями фіксованого обсягу. Звичайна плата адаптера Ethernet має буфер розміром 4 Кбайта, поділений на частини для

передачі і прийому, по 2 Кбайта кожна. Плати Token Ring адаптери Ethernet високого класу можуть володіти буфером розміром 64 Кбайта і більше, який може бути розбитий на області прийому і передачі довільним чином.

**5.4.3. Створення кадру.** Мережевий адаптер отримує дані, упаковані протоколом Мережевого рівня, і інкапсулює їх вкадр, який включає власне заголовок канального рівня і постінформацію. Залежно від розміру пакета і використовуваного протоколу Канального рівня, адаптера, можливо, також буде потрібно поділити дані на сегменти відповідного розміру для передачі їх в мережу. Кадри Ethernet, наприклад, переносять 1500 байт даних, в той час як кадри Token Ring можуть містити сегменти розміром до 4500 байт. Для вхідного трафіку мережевий адаптер зчитує інформацію в кадри Канального рівня, перевіряє їх на наявність помилок і визначає, чи повинен пакет бути переданий наступному рівню протокольного стека. Якщо так, то адаптер видаляє оболонку кадру канального рівня і передає вкладені дані протоколу Мережевого рівня.

**5.4.4. Управління доступом до середовища.** Мережевий адаптер також несе відповідальність за арбітраж доступу системи до загального середовища передачі даних, що забезпечується відповідним механізмом управління доступом до середовища (MAC, media access control). Нам відомо, що необхідно запобігати передачі даних по мережі декількома системами одночасно, так як безконтрольна передача може привести до втрати даних внаслідок виникнення колізії пакетів. Механізм управління доступом до середовища - окремий, найбільш детально описаний в посібниках, елемент протоколу канального рівня. Метод множинного доступу з контролем несучої і виявленням колізій (CSMA / CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), застосовуваний в мережах Ethernet, радикально відрізняється від апарату доступу з передачею маркера, підтримуваного мережами Token Ring, але основні функції цих механізмів, в кінцевому рахунку, одні і ті ж. (Для вхідного трафіку немає необхідності в використанні механізму управління доступом до середовища.)

**5.4.5. Паралельне/послідовне перетворення.** Системна шина, що з'єднує мережевий адаптер і масив основної пам'яті комп'ютера, здійснює обмін даними в паралель – по 16 або 32 біта одночасно, в той час як адаптер передає і приймає дані з мережі послідовно - по одному біту. Мережевий адаптер відповідає за розміщення одержуваних паралельно даних в своєму буфері і перетворення цих даних в послідовний потік бітів для подальшої передачі через мережеве середовище. Для даних, одержуваних з мережі, описаний процес носить зворотний характер.

**5.4.6. Кодування / декодування даних.** Комп'ютер працює з даними в двійковій формі, тому, перш ніж вони зможуть бути передані по мережі, їх необхідно закодувати способом, що підходить для мережевого середовища передачі даних, а вхідні сигнали повинні бути, відповідно, декодовані при прийомі. Розглянутий і наступний крок є процесами Фізичного рівня, реалізованими безпосередньо мережевим адаптером. Для мідного кабелю дані переводяться в електричні імпульси, для оптоволоконної лінії - перетворюються в світлові імпульси. Інші середовища передачі можуть використовувати радіохвилі, інфрачервоне випромінювання або інші технології. Схема кодування визначається задіяним протоколом канального рівня. Наприклад, в Ethernet застосовується манчестерське перекодування, а в мережах Token Ring - різнісхе манчестерське кодування.

**5.4.7 Прийом / передача даних.** На цьому кроці мережевий адаптер підсилює сигнал до підходящої амплітуди і посилає закодовані ним дані через мережеве середовище. Це – чистофізичний процес, який цілком і повністю залежить від природи сигналу, що використовується мережевим середовищем.

Плати мережевого адаптера використовують різні шини комп'ютера. Характеристики цих шин і відповідні їм пропускні спроможності наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1. Типи, розрядність і швидкодія шин ПК

| Тип шини | Розрядність | Частота шини | Теоретична максимальна пропускна здатність |
|----------|-------------|--------------|--|
| ISA      | 16 розрядів | 8,33 МГц     | 66,64 Мбіт / с (8,33 Мбайт / с)            |
| MCA      | 32 біти     | 10 МГц       | 320 Мбіт / с (40 Мбайт / с)                |
| EISA     | 32 розряди  | 8,33 МГц     | 266,56 Мбіт / с (33,32 Мбайт / с)          |
| VLB      | 32 розряди  | 33,33 МГц    | 1066,56 Мбіт / с (133,33 Мбайт / с)        |
| PCI      | 32 розряди  | 33,33 МГц    | 1066,56 Мбіт / с (133,33 Мбайт / с)        |

## 5.5. Мережеві програмні засоби.

Основний напрямок розвитку сучасних Мережевих Операційних Систем (англ. Network Operation System - NOS) - перенесення обчислювальних операцій на робочі станції, створення систем з певною обробкою даних. Це в першу чергу пов'язано зі зростанням обчислювальних можливостей персональних комп'ютерів і всебільш активним впровадженням потужних багатозадачних операційних систем: OS/2, Windows NT і Windows Me. Крім цього впровадження об'єктно-орієнтованих технологій (OLE, ActiveX, ODBC і т.д.) дозволяє спростити організацію розподіленої обробки даних. У такій ситуації основним завданням NOS стає об'єднання нерівноцінних операційних



систем робочих станцій і забезпечення транспортного рівня для широкого кола завдань: обробка баз даних, передача повідомлень, управління розподіленими ресурсами мережі (англ. directory / name service).

NOS визначає групу протоколів, що забезпечують основні функції мережі. До них відносяться:

- адресація об'єктів мережі;
- функціонування мережевих служб;
- забезпечення безпеки даних;
- управління мережею.

У сучасних NOS застосовують три основні підходи до організації управління ресурсами мережі.

Перший - це Таблиці Об'єктів (англ. Bindery). Використовується в мережевих операційних системах NetWare 4.0 і NetWare 3.XX. Така таблиця знаходиться на кожному файловому сервері мережі. Вона містить інформацію про користувачів, групи, їх права доступу до ресурсів мережі (даних, сервісних послуг, друку через мережевий принтер і т.п.). Така організація роботи зручна, якщо в мережі тільки один сервер. У цьому випадку потрібно визначити і контролювати тільки одну інформаційну базу. При розширенні мережі, додаванні нових серверів обсяг завдань по управлінню ресурсами мережі різко зростає. Адміністратор системи змушений на кожному сервері мережі визначати і контролювати роботу користувачів. Абоненти мережі, в свою чергу, повинні точно знати, де розташовані ті чи інші ресурси мережі, а для отримання доступу до цих ресурсів реєструватися на обраному сервері. Звичайно, для інформаційних систем, що складаються з великої кількості серверів, така організація роботи не підходить.

Другий підхід використовується в LAN Server і Windows NT Server - Структура доменів (англ. Domain). Всі ресурси мережі і користувачі об'єднані в групи. Домен можна розглядати як аналог таблиць об'єктів (англ. bindery), тільки тут така таблиця є загальною для декількох серверів, при цьому ресурси серверів є загальними для всього домену. Тому користувачеві, для того щоб отримати доступ до мережі, достатньо підключитися до домену (zareєструватися), після цього йому стають доступні всі ресурси домену, ресурси всіх серверів та пристроїв, що входять в складову частину домену. Однак і з використанням цього підходу також виникають проблеми при побудові інформаційної системи з великою кількістю користувачів, серверів і, відповідно, доменів, наприклад, мережі для підприємства або великої

розгалуженої організації. Тут ці проблеми вже пов'язані з організацією взаємодії та управління декількома доменами, хоча за змістом вони такі ж, як і в першому випадку.

Третій підхід - Служба найменувань Директорій або Каталогів (Англ. Directory Name Services - DNS) позбавлений цих недоліків. Усі ресурси мережі: мережевий друк, зберігання даних, користувачі, сервери і т.п. розглядаються як окремі гілки або директорії інформаційної системи. Таблиці, що визначають DNS, знаходяться на кожному сервері. Це, по-перше, підвищує надійність і живучість системи, а по-друге, спрощує звернення користувача до ресурсів мережі. Зареєструвавшись на одному сервері, користувачеві стають доступні всі ресурси мережі. Управління такою системою також простіше, ніж при використанні доменів, так як тут існує одна таблиця, яка визначає всі ресурси мережі, в той час як при доменній організації необхідно визначати ресурси, користувачів, їх права доступу для кожного домену окремо.

В даний час найбільш поширеними мережевими операційними системами є NetWare 3.XX і 4.XX (NovellInc., Windows NT Server Microsoft Corp. і LAN Server IBM Corp.).

Найпоширеніші типи мережесих ОС є:

*Мережесі ОС:*

Apple Talk  
LANtastic  
NetWare  
NetWare Lite  
Personal Net Ware  
NFS  
OS/2 LAN Manager  
OS/2 LAN Manager  
Windows NT Server  
POWERLAN  
Vines

*Назва фірми виробника:*

Apple  
Artisoft  
Novell  
Novell  
Novell  
Sun Nickosystems  
Microsoft  
IBM  
Microsoft  
Performance Technology  
Banyan

## **5.6. Кабелі.**

У мережі дані циркулюють по кабелях, що з'єднують окремі комп'ютери по-різному в залежності від обраної топології мережі.

Найбільшу популярність в світі отримали три види локальних мереж: Ethernet, Arcnet, Token Ring, які розрізняються методами доступу до каналів передачі даних. Серед цих мереж найбільше поширення набув Ethernet.

Кабель має центральний провідник (металевий провідник або оптоволоконну жилу), укладений в пластмасову оболонку. Типи кабелю: вита пара, коаксіальний кабель і волоконно оптичний кабель. Вита пара (twisted pair) може бути неекранованою (unshielded - UTP) і екранованою (shielded - STP) .В табл.5.2 перераховано характеристики типів кабельного середовища.

Табл.5.2. Характеристики кабелю.

| Фактор                      | UTP   | STP  | Коаксіальний.  | Оптично-волоконний                           |
|-----------------------------|---|--|--|--|
| Вартість<br>Інсталяція      | Найнижча<br>Проста  | Помірна<br>Достатньо проста  | Помірна<br>Достатньо проста  | Найвища<br>Складна                           |
| Смуга пропускання           | Від 1 до 155Мбит/с  | Від 1 до 155Мбит/с   | Типова<br>10Мбит/с   | 2 Гбит/с                                     |
| Кількість вузлів в сегмент. | 2   | 2  | 30(10Base2)<br>100(10Base5)  | 2  |
| Затухання ЕМІ               | сильне найбільше піддається електромагніт. перешкодам і перехвату сигналу | меншвразливий, ніж UTP, але також піддається електромагніт. перешкодам і перехвату сигналу | низьке менее уязвим, чем UTP, но также подвержен электромагнит. помехам и перехвату сигнала. | низьке не піддається ЕМІ і перехвату сигналу |

При виборі оптимального типу носія слід враховувати вищенаведені характеристики середовища передачі даних:

- вартість кожного середовища передачі даних слід порівнювати з його продуктивністю і доступними ресурсами;
- інсталяція кожної мережі має свої особливості і треба знайти найбільш прийнятне життєздатне рішення;
- пропускну здатність. Можливість середовища передачі даних оцінюється по смузі пропускання. Носій з високою пропускну здатністю має велику смугу пропускання, з низькою - малу;
- число вузлів - це число комп'ютерів, які можна легко підключати до мережевих кабелів.
- загасання сигналів. При передачі електромагнітні сигнали слабшають. Це явище називається загасанням. Трансльовані сигнали втрачають свою

потужність, поглинаються і йдуть в невірному напрямку, що накладає обмеження на відстань, яку долають сигнали до настання неприйнятної рівня. Перевищення такого обмеження може привести до помилок або відмови мережі;

- електромагнітні перешкоди (electromagnetic interference - ЕМІ) впливають на сигнал, що передається. Вони викликаються зовнішніми електромагнітними хвилями, які спотворюють корисний сигнал, що ускладнює його декодування приймаючим комп'ютером.

Проблемою є можливість перехоплення сигналу, особливо якщо в мережі необхідний високий ступінь захисту.

У більшості мереж застосовуються три основні групи кабелів:

- коаксіальний кабель (КК) (coaxial cable);
- вита пара (ВП) (twisted pair):
  1. неекранована (unshielded);
  2. екранована (shielded);
- оптоволоконний кабель (ОК) (fiber optic).

КК складається з мідної жили, ізоляції жили, екрану у вигляді металевої сітки і зовнішньої оболонки. Деякі типи кабелів покриває металева сітка - екран, що не дозволяє перешкодам спотворити дані. Жила оточена ізоляційним шаром. Зовні кабель покритий непровідним шаром з гуми, тефлону або пластика. КК більш стійкий до перешкод, згасання сигналу в ньому менше, ніж у витій парі. Існує два типи КК: тонкий КК і товстий КК. Вибір типу КК залежить від потреб конкретної мережі.

**5.5.1. Тонкий КК** - гнучкий кабель  $\varnothing$  0,5 см. Простий в застосуванні і годиться практично для будь-якого типу мережі. Підключається безпосередньо до плат мережевого адаптера комп'ютера. Тонкий КК здатний передавати сигнал на відстані до 185 м. безпомітного спотворення. Тонкий КК відноситься до сімейства RG - 58, його хвильовий опір 58 Ом.

| Кабель     | Опис  |
|------------|---|
| RG – 58/U  | Суцільна мідна жилка  |
| RG – 58A/U | Переплетення проводів   |
| RG – 58C/U | Воєний стандарт для RG – 58A/U                                    |
| RG – 59    | Використовується для широкосмугової передачі                      |
| RG -6      | Має більший $\varnothing$ , ніж RG – 59, для більшвисоких частот. |
| RG - 62    | Використовується в мережах Arc Net                                |

**5.5.2. Товстий КК** - з  $\varnothing$  1 см. Чим товстіший кабель, тим більшу відстань здатний подолати сигнал. Товстий КК передає до 500 м. Для підключення до товстого КК застосовують спеціальний пристрій - трансфер (Т). Т забезпечений спеціальним конвектором (з'єднувачем), і називається "зуб вампіра" або пронизуючий відгалужувач.

Тонкий КК гнучкий, простий в установці і відносно не дорогий. Товстий КК важко гнути і встановлювати, дорожче тонкого, але він передає сигнали на більші відстані. Для підключення тонкого КК до комп'ютера використовуються BNC-конектори (British Novel Connector). В цьому сімействі кілька основних компонентів:

- BNC-конектор припаюється або обжимається на кінці кабелю;
- BNC Т-конектор з'єднує мережевий кабель з мережевою платою комп'ютера;
- BNC Баррел-коннектор застосовується для зрощування двох відрізків тонкого КК;
- BNC-термінатор.

Вибір того чи іншого класу КК залежить від того, де кабель буде прокладатися. Існує два типи:

- ПВХ прокладають на відкритих ділянках приміщень, при горінні виділяють отруйні гази.
- Пленумний прокладають в області плenumу (невеликий простір між фальш-стелею і перекриттям – для вентиляції). Шар ізоляції і зовнішня оболонка пленумного кабелю виконані зі спеціальних вогнетривких матеріалів, які при горінні виділяють мінімальну кількість диму.

**5.5.3. Вита пара (ВП)**. Існує два види тонкого кабелю: неекранована (unshielded) вита пара (UTP) і екранована (Shielded) вита пара (STP). Завивка проводів дозволяє позбутися від електричних перешкод, що наводяться сусідніми парами та іншими джерелами (двигуни, реле, трансформатори).

Неекранована ВП (специфікація 10 Base T) широко використовується в локальних мережах. Існує кілька специфікацій, які регулюють кількість витків на одиницю довжини - залежно від призначення кабелю. Стандарт EIA/TIA 568 встановлює п'ять категорій UTP:

- категорія 1. Традиційний телефонний кабель, по якому можна передавати тільки мову, але не дані;

- категорія 2. Кабель, здатний передавати дані зі швидкістю до 4 Мбіт / с. Складається з 4-х витих пар;
- категорія 3. Кабель, здатний передавати дані зі швидкістю до 10 Мбіт / с. Складається з 4-х ВП з 9-ма витками наметр;
- категорія 4. Кабель, здатний передавати дані зі швидкістю до 16 Мбіт / с. Складається з 4-х ВП;
- категорія 5. Кабель, здатний передавати дані зі швидкістю до 100 Мбіт / с. Складається з 4-х ВП.

Екранована вита пара має мідну оплетку, яка забезпечує кращий захист, ніж неекранована ВП.

**5.5.4. Оптиковолоконний кабель (ОК).** У цьому кабелі цифрові дані поширюються по оптичних волокнах у вигляді модульованих світлових імпульсів. Це надійний спосіб передачі даних. Оптиковолоконні лінії призначені для переміщення великих обсягів даних на дуже великих швидкостях, сигнал в них не згасає і не спотворюється. Для передачі по кабелю кодованих сигналів використовують дві технології - вузькосмугову передачу і широкосмугову.

Вузькосмугові (baseband) передають дані в вигляді цифрового сигналу однієї частоти. Сигнали являють собою дискретні електричні або світлові імпульси. При такому способі вся ємність комунікаційного каналу використовується для передачі одного імпульсу або цифровий сигнал використовує всю смугу пропускання кабелю. Смуга пропускання - це різниця між максимальною і мінімальною частотою. Кожен пристрій в мережах з вузькосмуговою передачею посиляє дані в обох напрямках. Просуваючись по кабелю, сигнал поступово загасає і може спотворитися. Щоб уникнути цього, в вузькосмугових системах використовують репітери, які підсилюють сигнал і ретранслюють його в додаткові сегменти.

Широкосмугові (broadband) системи передають сигнал у вигляді аналогового сигналу, який використовує певний інтервал частот. Сигнали являють собою безперервні електромагнітні або оптичні хвилі. При такому способі сигнали передаються по фізичному середовищі в одному напрямку. Якщо забезпечити необхідну смугу пропускання, то по одному кабелю одночасно може працювати декілька систем і комп'ютери повинні бути налаштовані так, щоб працювати саме з виділеною частиною смуги пропускання. В широкосмуговій системі сигнал передається тільки в одному напрямку, і щоб пристрої могли приймати і передавати дані, необхідно забезпечити два шляхи проходження сигналу. Нижче приведена табл. 5.3 для порівняння кабелів.

Табл.5.3.

| Характеристи<br>ка                 | Тонкий КК<br>(10 Base 2)   | Товстий КК<br>(10 Base 5) | Вита пара<br>(10 Base T)   | Оптоволоконий<br>кабель   |
|------------------------------------|--|---------------------------|--|---|
| Вартість                           | Дорожче ВП   | Дорожче<br>тонкого КК     | Найдешевший  | Найдорожчий   |
| Ефективна<br>довжина<br>кабелю     | 185 м.   | 500 м.                    | 100 м.   | 2 км.   |
| Швидкість<br>передачі              | 10 Мбит/с.   | 10 Мбит/с.                | 4-100 Мбит/с   | 100 Мбит/с і<br>вище  |
| Гнучкість                          | Доволі гнучкий   | Менш<br>гнучкий           | Найгнучкіший   | Не гнучкий  |
| Простота<br>монтажу                | Простий  | Простий                   | Дуже простий   | Складний  |
| Стійкість до<br>перешкод           | Хороша   | Хороша                    | Піддається<br>перешкодам   | Не піддається<br>перешкодам   |
| Особливі<br>властивості            | Електрон.<br>компоненти<br>дешевші, ніж<br>у витій пари.<br>Середні або<br>великі мережі | Те ж                      |  | Підтримує мову,<br>відео, дані  |
| Рекомендо-<br>ване<br>застосування | з високими<br>вимогами<br>до захисту<br>даних  | Те ж                      | UTP –<br>найдешевший<br>варіант;<br>STP – Token<br>Ring любого<br>розміру. | Мережі любого<br>Розміру з високими<br>вимогами до<br>швидкості передачі,<br>рівню захисту і<br>цілісності даних. |

## 6 ПРОТОКОЛИ

6.1. Визначення протоколів.

6.2. Робота протоколів.

6.3. Стеки протоколів.

Ключові слова: протоколи, стек, прив'язка.

### 6.1. Опис протоколів.

*Протоколи* - це правила і технічні процедури, що дозволяють декільком комп'ютерам при об'єднанні в мережу спілкуватися один з одним.

Слід запам'ятати три основних моменти:

1. Існує багато протоколів. Всі вони беруть участь в реалізації зв'язку, але кожен протокол має різні цілі, виконує різні завдання, має свої перевагами і обмеження.

2. Протоколи працюють на різних рівнях моделі OSI. Функції протоколу (П) визначаються рівнем, на якому він працює. Наприклад, П на фізичному рівні, -

це означає, що він забезпечує проходження пакетів через плату мережевого адаптера і їх надходження в мережевий кабель.

3. Кілька П можуть працювати спільно. Це стек, або набір протоколів.

Як мережеві функції розподілені по всіх рівнях моделі OSI, так і протоколи спільно працюють на різних рівнях стека протоколів. Рівні в стеку протоколів відповідають рівням моделі OSI. У сукупності протоколи дають повну характеристику функцій і можливостей стека.

## **6.2. Робота протоколів.**

Передача даних по мережі, з технічної точки зору, повинна бути розбита на ряд послідовних кроків, кожному з яких відповідають свої правила і процедури, або протокол. Таким чином, зберігається сувора черговість у виконанні певних дій.

Крім того, ці дії повинні бути виконані в одній і тій же послідовності на кожному мережевому комп'ютері. На комп'ютері-відправнику ці дії виконуються в напрямку вниз, а на комп'ютері-одержувачі від низу до верху.

Комп'ютер-відправник відповідно до протоколу виконує наступні дії:

- розбиває дані на невеликі блоки, звані пакетами, з якими може працювати протокол;
- додає до пакетів адресну інформацію, щоб комп'ютер-одержувач міг визначити, що ці дані призначені йому;
- готує дані до передачі через плату мережевого адаптера і далі - по мережевому кабелю.

Комп'ютер-одержувач відповідно до протоколу виконує ті ж дії, але тільки в зворотному порядку:

- приймає пакети даних з мережевого кабелю;
- через плату мережевого адаптера передає пакети в комп'ютер;
- видаляє з пакету всю службову інформацію, додану комп'ютером-відправником;
- копіює дані з пакетів в буфер для об'єднання в вихідний блок даних;
- передає додатком цей блок даних в тому форматі, який він використовує.

На рис.6.1. показані фрагменти даних, відповідні кожному рівню моделі OSI.





вище рівень, тим складніше стають завдання, що вирішуються ними і пов'язані з цими завданнями протоколи.

Прив'язка дозволяє з достатньою гнучкістю налаштовувати мережу, тобто поєднувати протоколи і плати мережових адаптерів, як того вимагає ситуація. Наприклад, два стека протоколів IPX/SPX можуть бути прив'язані до однієї плати МА. Якщо на комп'ютері більше однієї плати МА, то стек протоколів (СП) може бути прив'язаний як до однієї, так і до декількох плат МА.

Порядок прив'язки визначає черговість, з якою ОС виконує протоколи. Якщо з однією платою МА пов'язано кілька протоколів, то порядок прив'язки визначає черговість, з якою будуть використовуватися протоколи при спробах встановити з'єднання. Зазвичай прив'язку виконують при установці ОС або протоколу. Наприклад, якщо TCP/IP перший протокол у списку прив'язки, то саме він буде використовуватися, при спробі встановити зв'язок. Якщо спроба невдала, комп'ютер спробує встановити з'єднання, використовуючи наступний по порядку протоколів списку прив'язки.

Прив'язка не обмежується встановленням відповідності стеків протоколів платі МА. МА повинен бути прив'язаний до компонентів, рівні яких і вище, і нижче його рівня. Так TCP/IP нагорі може бути прив'язаний до мережевого рівня NetBIOS, а внизу – до драйвера плати МА. Драйвер, в свою чергу, прив'язаний до плати МА.

У комп'ютерній промисловості в якості стандартних моделей протоколів розроблено кілька стеків. Важливі:

- набір протоколів ISO/OSI;
- IBM System Network Architecture (SNA);
- Digital DECnet™;
- Novell NetWare;
- Apple AppleTalk®;
- Набір протоколів Інтернету TCP/IP.

На рис. 6.3 показано відображення протоколів на модель OSI. Протоколи цих стеків виконують роботу специфічну для свого рівня. Однак, комунікаційні завдання, які покладені на мережу, призводять до поділу протоколів на три типи: прикладний; транспортний, мережевий (табл. 6.4).

|                                   |  |  |  |  |   |
|-----------------------------------|--|--|--|--|---|
|                                   | Базове середовище IP                                   | Базове середовище IP                                   | Windows. OS/2  | Windows. OS/2  | NetWare   |
| <b>Рівень додатків</b>            | Telnet, FTP, SMTP, HTTP                                | SNMP, TFTP, DNS, BOOTP                                 | SMB  | SMB  | NCP   |
| <b>Рівень представлення даних</b> |  |  |  |  |   |
| <b>Сеансовий рівень</b>           |  |  | NetBIOS  | NetBEUI  |   |
| <b>Транспортний рівень</b>        | TCP  | UDP  | UDP/TCP  |  | SPX/SPXII   |
| <b>Мережевий рівень</b>           | IP   | IP   | IP   |  | IPX   |
| <b>Канальний рівень</b>           | LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, регіональні мережі | LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, регіональні мережі | LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, регіональні мережі | LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, регіональні мережі | LLC Ethernet LLC Token Ring, FDDI, регіональні мережі |
| <b>Фізичний рівень</b>            | будь-який носій інформації                             | будь-який носій інформації                             | будь-який носій інформації                             | будь-який носій інформації                             | будь-який носій інформації                            |

Рис. 6.3 Відображення популярних протоколів на модель OSI

Табл. 6.4 Модель OSI і типи протоколів

|                        |   |
|------------------------|---|
| Прикладний рівень      | Користувачі послуг мережі прикладного рівня |
| Представницький рівень |   |
| Мережевий рівень       |   |
| Транспортний рівень    | Транспортні служби                          |
| Мережевий рівень       | Мережеві служби                             |
| Канальний рівень       |   |
| Фізичний рівень        |   |

**Прикладні протоколи (ПП)** працюють на верхньому рівні моделі OSI. Вони забезпечують взаємодію додатків і обмін даними між ними. До найбільш популярних ПП відносяться:

- Telnet - протокол Інтернету (I) для реєстрації на віддалених хостах і обробки даних на них;
- FTP (File Transfer Protocol) - протокол I для передачі файлів;
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) - протокол I для обміну електронною поштою;
- SNMP (Simple Network Management Protocol) - протокол I для моніторингу мережі і мережевих компонентів;
- TFTP (Trivial File Transfer Protocol) - найпростіший протокол передачі даних для доставки виконуваного файлу без дискової клієнтської системи;
- DNS (Domain Name System) - служба централізованого розпізнавання імен;
- BOOTP (Bootstrap Protocol) - протокол динамічної конфігурації хоста;
- SMB (Server Message Blocks) - блоки серверних повідомлень;
- NCP (Network Control Protocol) - протокол управління мережею з метою визначення параметрів з'єднання кожного з протоколів Мережевого рівня;
- NetBIOS (Network Basic Input / Output System) - мережева базова система введення виведення
- NetBEUI (NetBIOS Extended User Interface) – розширений користувацький інтерфейс мережевої BIOS.

**Транспортні протоколи** підтримують сеанси зв'язку між комп'ютерами і гарантують надійний обмін даними між ними. До популярних відносяться:

- TSP (Transmission Control Protocol) - протокол для гарантованої доставки даних, розбитих на послідовність фрагментів;
- SPX - частина набору протоколів IPX/SPX (Interwork PacketExchange / Sequential Packet Exchange) - для даних, розбитих на послідовність фрагментів, фірми Novell;
- NetBEUI - встановлює сеанси зв'язку між комп'ютерами (NetBIOS) і представляє верхнім рівнем транспортні послуги (NetBEUI);
- ATP (Apple Talk Transaction Protocol), NBP (Name Binding Protocol) - протоколи сеансів зв'язку і транспортування даних фірми Apple.

**Мережеві протоколи** забезпечують послуги зв'язку. Ці протоколи керують кількома типами даних: адресацією, маршрутизацією, перевіркою помилок і запитами на повторну передачу. Мережеві протоколи крім того

визначають правила для здійснення зв'язку в конкретних мережових середовищах, наприклад, Ethernet або Token Ring. До популярних відносяться:

- IP (Internet Protocol) - протокол для передачі пакетів;
- IPX (Internet work Packet Exchange) - протокол фірми NetWare для передачі і маркування пакетів;
- DDP (Datagram Delivery Protocol) - Apple Talk протокол для транспортування даних.

## **7 МЕРЕЖЕВІ АРХІТЕКТУРИ**

### **7.1 ETHERNET**

### **7.2 Кадр ETHERNET**

### **7.3 Стандарти IEEE**

Ключові слова: мережові архітектури, трафік, передача, метод доступу, кадр, адреса.

Поняття *мережові архітектури* (МА) включає загальну структуру мережі, тобто всі компоненти, завдяки яким мережа функціонує, в тому числі апаратні засоби і системне програмне забезпечення. Найбільш часто використовувані архітектури: Ethernet, Token Ring, Arc Net.

### **7.1 ETHERNET**

ETHERNET - найпопулярніша мережева архітектура. Вона використовує вузькосмугову передачу зі швидкістю 10 Мбіт/с, топологію "шина", а для регулювання трафіку в основному сегменті кабелю CSMA / CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - множинний доступ з контролем несучої і виявленням колізій) - метод доступу, який використовується в топологіях "шина" і "зірка". Алгоритм множинного доступу з прослуховуванням несучої і дозволом колізій наведено на рис.7.1.

Робочі станції "прослуховують" канал передачі даних, щоб визначити, чи не здійснює вже інша станція передачу кадру даних. Якщо жодна зі станцій його не передає, "слухаюча станція" посилає свої дані. Суть «прослуховування» - перевірити наявність несучої (певного рівня напруги або світла). Середовище (кабель) Ethernet є пасивним, тобто отримує живлення від комп'ютера. Отже, воно припинить роботу через фізичне пошкодження або неправильне підключення термінатора. Мережа Ethernet має наступні характеристики:

- традиційна топологія - лінійна шина;

- інші топології - зірка, шина;
- тип передачі - вузькосмуговий;
- метод доступу - CSMA / CD;
- специфікації - IEEE 802.3;
- швидкість передачі даних - 10 і 100 Мбіт / с;
- кабельна система - товстий і тонкий коаксіальний, UTP.

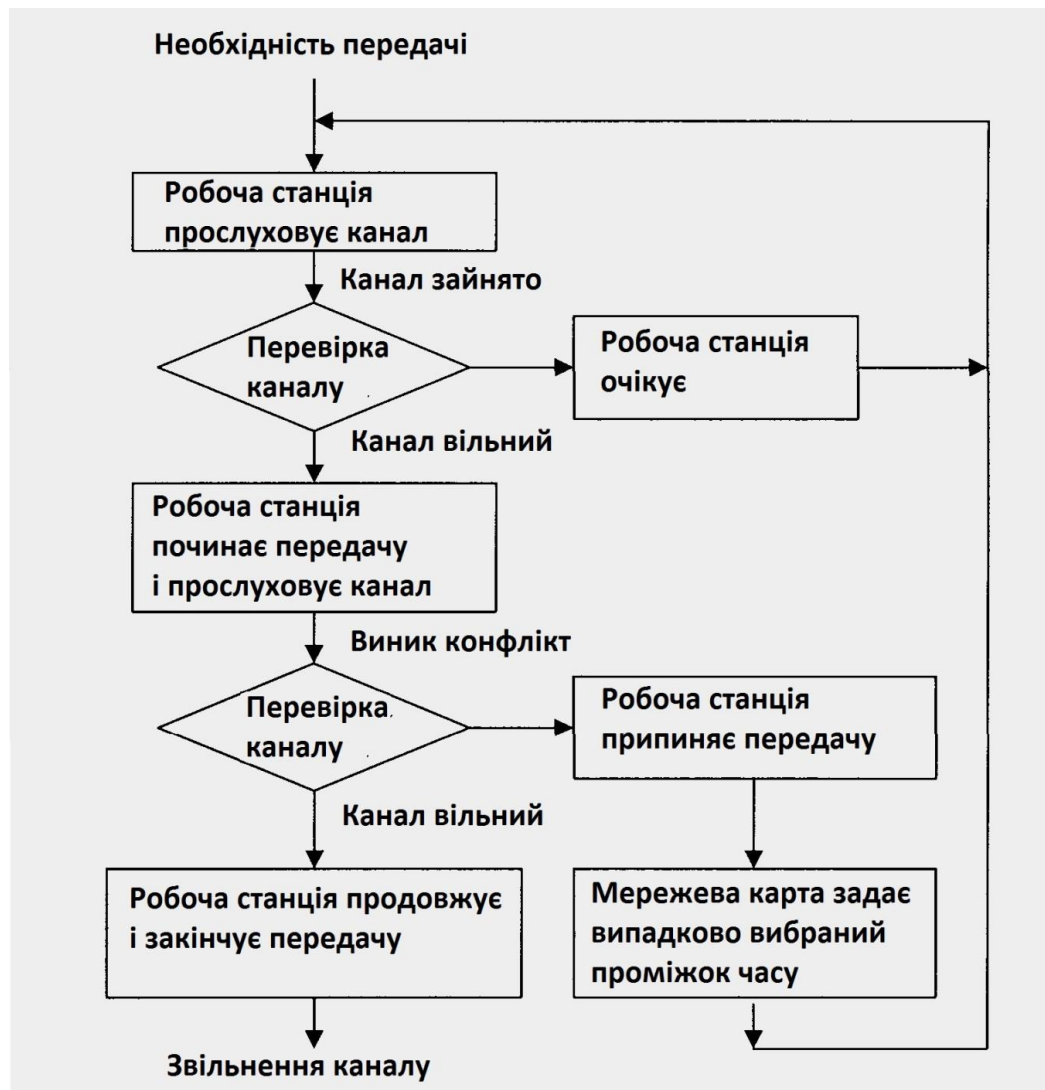


Рис. 7.1 Алгоритм CSMA/CD

## 7.2. Кадр Ethernet

*Кадр Ethernet* - це послідовність біт, яка починає і закінчує кожен пакет Ethernet, що передається по мережі. Кадр складається із заголовка і постінформації, які оточують і інкапсулюють дані, що генеруються протоколами вищих рівнів моделі OSI. Інформація в заголовку і постінформації вказує адресу системи, яка послала пакет, і системи, яка повинна отримати

його, а також виконує кілька інших функцій, важливих для доставки до місця призначення.

**Кадр IEEE 802.3** Основний формат кадру Ethernet, визначений стандартом IEEE 802.3, і виглядає, як показано на рис. 7.2. Функції окремих полів розглядаються нижче.

### 7.2.1. Преамбула і початковий роздільник.

Преамбула складається з 7 байтів з перемешованими значеннями 0 і 1, які системи використовують для синхронізації генераторів тактових імпульсів, а потім відкидають. Застосування Ethernet манчестерської системи кодування вимагає, щоб генератори тактових імпульсів, взаємодіючих систем були синхронізовані, тобто уклали угоду по тривалості часу, проходження біта.

Більшість вироблених сьогодні мережевих адаптерів розроблені для синхронізації протягом часового інтервалу, що досягає часу проходження 11 біт, але це не абсолютне значення. Для того щоб вказати початок дійсної передачі пакету, відправник передає 1-байтовий початковий роздільник, який продовжує послідовність з почергових 0 і 1, за винятком двох останніх біт, які обидва містять 1. Це - сигнал одержувачу, що будь-які наступні за ним дані є частиною пакета і повинні бути зчитані в буфер пам'яті мережевого адаптера для подальшої обробки системи в холостому режимі (тобто що не здійснює в даний момент передачу або процес виправлення колізії) нездатні приймати будь-які дані, поки вони обробляють сигнали послідовності біт преамбули в ході підготовки до подальшої передачі даних. Під час передачі преамбули приймаюча система синхронізує генератор тактових імпульсів з генератором відправника, але при цьому одержувач не знає про те, як багато біт з 7 байт преамбули пройшли, перш ніж він включився в синхронізацію.

|  |   |
|--|---|
|  | Преамбула (7 байтів)                      |
|  | Початковий роздільник(1 байт)             |
|  | Адреса призначення(6 байтів)              |
|  | Адреса джерела(6 байтів)                  |
|  | Довжина (2 байта)                         |
|  | Дані та заповнення(46-1500 байтів)        |
|  | Контроль на послідовність кадру (4 байта) |

Рис.7.2 Кадр Ethernet оточує інформацію, передану від мережевого рівня вниз по стеку протоколів, і готує її для передачі.

## 7.2.2. Адрес призначення і початкова адреса

*Адресація* є найбільш важливою функцією кадру Ethernet. Так як кадр можна уявити як "конверт" для даних Мережевого рівня, які переносяться всередині нього, то йому потрібна наявність адрес відправника і одержувача. Адреси протоколу Ethernet, використовуються для ідентифікації систем мережі, мають довжину 6 байт і "зашиті" в плати мережевих адаптерів машини. Ці адреси називаються апаратними адресами або MAC-адресами. Апаратна адреса кожного адаптера Ethernet унікальна. IEEE присвоює 3-байтовий префікс виробникам плат мережевих адаптерів. Він називається унікальним ідентифікатором виготовлювача (OUI, organizationally unique identifier). Решта 3 байта адреси апаратури виробники призначають самі.

Поле адреси призначення ідентифікує систему, якій був відправлений пакет. Адреса може вказувати на кінцеву систему, якій призначений пакет, якщо ця система знаходиться в локальній мережі, або адреса може належати пристрою, що надає доступ в іншу мережу, наприклад, маршрутизатора. Адреси Канального рівня завжди вказують на наступну точку зупинки пакета в локальній мережі. Контроль за проходженням по всьому маршруту між кінцевими точками здійснює Мережевий рівень, який і надає адресу місця призначення пакету.

Кожен вузол в мережі Ethernet зчитує цільовий адрес із заголовка пакета, переданого по мережі, для того, щоб визначити, чи не містить заголовок адресу цього вузла. Система, що зчитала заголовок кадру і знала свою власну адресу, зчитує пакет цілком у буфер пам'яті і обробляє його. Адреса призначення, що повністю складається, з двійкових одиниць означає, що пакет широкомовний, тобто призначений для всіх систем мережі. Певні адреси можуть бути груповими. Вони ідентифікують групу систем в мережі, які всі повинні прийняти надіслане повідомлення. Поле вихідної адреси містить 6-байтовий MAC-адрес системи, що відправила пакет. Значення полів адреси призначення, і адреси джерела формує драйвер мережевого адаптера системи, що передає пакет.

## 7.2.3. Довжина

Поле довжини кадру IEEE 802.3 становить 2 байта і вказує на кількість даних (в байтах), які переносяться кадром як корисне навантаження. Його значення включає тільки дійсні дані вище лежачих рівнів, що містяться в пакеті. Воно не включає розміри полів заголовка, постінформації, а також будь-якого навантаження, яке могло бути додане до даних для того, щоб забезпечити мінімальний розмір для пакета Ethernet (64 байта). Максимальний розмір для



пакета Ethernet, включаючи кадр, становить 1518 байт. Оскільки кадр складається з 18 байт, то найбільше значення поля довжини дорівнює 1500.

#### **7.2.4. Дані і доповнення**

Розглядуване поле містить корисні дані пакету, тобто внутрішній вміст оболонки. Передані вниз протоколом Мережевого рівня дані включають первинне повідомлення, створене додатком або процесом верхнього рівня, і інформацію заголовка, що додається протоколами проміжних рівнів. Крім цього пакет, що відповідає стандарту 802.3, містить 3-байтовий заголовок рівня управління логічного зв'язку (LLC), також розміщений в полі даних.

Наприклад, пакет, що містить ім'я хоста Інтернету, яке має бути перетворено DNS-сервером в IP-адресу, складається з початкового повідомлення DNS, заголовка, доданого на Транспортному рівні протоколом UDP, заголовка, доданого на Мережевому рівні протоколом IP, і заголовка LLC. Хоча ці три додаткових заголовка не є частиною початкового повідомлення, для протоколу Ethernet вони представляють просто корисні дані, які переносяться в поле даних, так само як і будь-яка інформація. Також як і поштові працівники, що не підозрюють про вміст переданих ними листів, протокол Ethernet не знає про вміст всередині оболонки.

Щоб механізм виявлення колізій міг функціонувати, готовий пакет Ethernet (включаючи преамбулу і початковий роздільник) повинен бути довжиною мінімум 64 байта. Таким чином, за вирахуванням 18 байт кадру, поле даних повинне мати розмір не менше 46 байт. Якщо "корисне навантаження" отримане від протоколу Мережевого рівня, надто коротке, то адаптер додає рядок нічого не значущих бітів для того, щоб доповнити поле даних до необхідного розміру.

Найбільша довжина для пакета Ethernet становить 1518 байт, відповідно, поле даних не може бути більше, ніж 1500 байт (Включаючи заголовок LLC).

#### **7.2.5. Контрольна послідовність кадру**

Останні 4 байта кадру, що слідує за полем даних (і доповненням, якщо воно є), містять значення контрольної суми, яку приймаючий вузол задіює для визначення цілісності пакету. Безпосередньо перед передачею мережевий адаптер вузла, що відправляє повідомлення, обчислює надлишковий циклічний код (CRC) для всіх інших полів пакету (завинятком преамбули і початкового роздільника), використовуючи поліноміальний алгоритм AUTODIN II. Значення CRC унікально для даних, які використовуються для його обчислення.

Коли пакет досягає свого місця призначення, мережевий адаптер приймаючої системи зчитує вміст кадру і виконує обчислення за тим же алгоритмом. Порівнюючи свіжоотримане значення з тим, що міститься в полі контрольної послідовності кадру (FCS, frame check sequence), система з високою ймовірністю може перекоонатися в тому, що один з бітів пакета не був змінений. Якщо значення збігаються, система приймає пакет і поміщає його в буфери пам'яті для подальшої обробки. Якщо значення не збігаються, система оголошує помилку звірки (alignment error) і відкидає кадр. Система також відкидає кадр, якщо кількість біт в пакеті не кратне 8. Якщо кадр відкинутий, то протоколи верхніх рівнів виявляють його відсутність і організовують повторну передачу.

Мережі Ethernet використовують різні варіанти кабелів і топологій, засновані на специфікації IEEE.

### 7.3 Стандарти IEEE на 10 Мбіт / с.

Тут існує 4 топології:

- 10 Base T;
- 10 Base 2;
- 10 Base 5;
- 10 Base FL.

**10 BASE T** (10-швидкість передачі даних 10 Мбіт/с, BASE-вузькосмугова, T-вита пара) мережу Ethernet для з'єднання комп'ютерів зазвичай використовують неекрановану виту пару (UTP), можна і екрановану (STP).

Більшість мереж цього типу будуються у вигляді зірки, але по системі передачі сигналів представляють собою шину (рис.7.3). Зазвичай концентратор мережі 10 Base T виступає як багато портовий ретранслятор (підсилювач).



Рис. 7.3 Топологія 10 Base T

Табл. 7.1

| Категорія  | Характеристика                         |
|--|--|
| Кабель   | Категорія 3, 4 або 5 UTP               |
| З'єднувач  | RG-45 на кінцях кабелю                 |
| Трансивер (пристрій для прийому і передачі сигналів) | Потрібен кожному комп'ютеру            |
| Відстань від трансивера до концентратора             | 100 max                                |
| Магістраль для з'єднання концентраторів              | Коаксіальний або оптоволоконний кабель |
| Загальна кількість РС в ЛС                           | За специфікації до 1024                |

**10 Base 2** (10 - 10 Мбіт/с, Base-вузькосмугова передача, відстань до 185м). Мережа такого типу орієнтована на тонкий коаксіальний кабель, або тонкий Ethernet з максимальною довжиною сегмента 185 м, мінімальна довжина кабелю 0,5 м (Рис.7.4).



Рис.7.4 Топологія 10 Base 2

Компоненти кабелю "тонкий Ethernet":

- BNC баррел-конектори (для подовження кабелю);
- BNCT - коннектори (з'єднують мережевий кабель з мережевою платою);
- BNC– термінатори.

Мережі на тонкому Ethernet мають топологію "шина".

Характеристика топології 10 Base 2 представлена в табл. 7.2

Табл. 7.2 - Характеристика топології 10 Base 2

| Категорія  | Характеристика  |
|--|---|
| Максимальна довжина сегмента                     | 185м  |
| З'єднання з платою мережевого адаптера           | BNCT-коннектор  |
| Кількість магістральних сегментів і репітерів    | Використовуючи 4 репітери, можна з'єднати 5 сегментів |
| Максимальна кількість РС на сегмент              | За специфікації 30                                    |
| Кількість сегментів, до яких можна підключити РС | 3 сегменти з 5  |
| Максимальна загальна довжина мережі              | 925м  |
| Загальна кількість РС в мережі                   | 1024  |

**10 Base 5** - Стандартний Ethernet (10-швидкість передачі 10 Мбіт/с, Base-вужькосмугова передача, 5-сегменти по 500 м.)

Компоненти кабельної мережі:

- трансивери (транслятори), забезпечують зв'язок між РС і головним кабелем ЛЗ, суміщені з "зубом вампіра", сполученим з кабелем;
- кабелі трансиверів з'єднують трансивер з платою мережевого адаптера;
- DIX (Digital Intel Xerox connector) - конектор, або AUI-конектор, цей коннектор розташований на кабелі трансивера;
- коннектори N-серії та термінатори N-серії.

Характеристика топології 10 Base 5 представлена в табл.7.3

Табл. 7.3

| Категорія  | Характеристика  |
|--|---|
| Максимальна довжина сегмента                           | 500м  |
| Трансивери   | Сполучені з сегментом                                 |
| Максимальна відстань між комп'ютером і трансивером     | 50м   |
| Мінімальна відстань між трансиверами                   | 2, 5м   |
| Кількість магістральних сегментів і репітерів          | Використовуючи 4 репітери, можна з'єднати 5 сегментів |
| Кількість сегментів, до яких можуть бути підключені РС | 3 сегменти з 5  |

Порівняльна характеристика топології мережі Ethernet представлена в табл. 7.4

Табл. 7.4

|                                    | 10 Base 2                      | 10 Base 5   | 10 Base T                                   |
|------------------------------------|--------------------------------|---|---|
| Топологія                          | Шина                           | Шина  | Зірка, Шина                                 |
| Тип кабелю                         | RG-58 (тонкий, коаксіальний)   | Товстий Ethernet кабель трансивера екранована вита пара | Неекранована вита пара категорії 3, 4 або 5 |
| З'єднання з платою СА              | BNCT-конектор                  | DIX-конектор, AUI-конектор                              | RG-45                                       |
| Опір термінатора,                  | 50                             | 50  | Не використовується                         |
| Хвильовий опір                     | 50±2                           | 50±2  | 85-115 для UTP 135-165 - STP                |
| Відстань, м.                       | Від 0,5 між PC                 | Від 2,5 між Tr і до 50 між Tr PC                        | До 100 між трансивером (Tr) і концент-ом    |
| Максим. довжина кабельного сегмен. | 185                            | 500   | 100   |
| Максим. число з'єднаних сегментів  | 5 (звикористан. 4-х репитерів) | Те ж  | Не визначено                                |
| Максимальна довжина мережі         | 925                            | 2460  | Не використовується                         |
| Максимальне число PC на сегмент    | 30 (в мережі м.б.1024 PC)      | 100   | 1 (кожен PC має власний кабель)             |

## 8. ВИМОГИ, ЩО СТАВЛЯТЬСЯ ДО СУЧАСНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ

### 8.1 Продуктивність

### 8.2 Надійність і безпека

### 8.3 Можливість розширення і масштабування

### 8.4 Прозорість

### 8.5 Підтримка різних видів трафіку

### 8.6 Керованість

### 8.7 Сумісність

Ключові слова: час реакції, пропускна здатність, затримка передачі, коефіцієнт готовності, безпека, розширюваність, масштабованість, прозорість, керованість, сумісність

### 8.1. Продуктивність

Потенційно висока продуктивність - це одна з основних властивостей розподілених систем, до яких відносяться локальні мережі. Ця властивість забезпечується можливістю розпаралелювання робіт між декількома

комп'ютерами мережі. Нажаль, цю можливість не завжди вдається реалізувати. Існує кілька основних характеристик продуктивності мережі:

- час реакції;
- пропускна здатність;
- затримка передачі і варіація затримки передачі.

*Час реакції* мережі є інтегральною характеристикою продуктивності мережі з точки зору користувача. Саме цю характеристику має на увазі користувач, коли говорить: «Сьогодні мережа працює повільно».

У загальному випадку час реакції визначається як інтервал часу між виникненням запиту користувача до якої-небудь мережевої служби і отриманням відповіді на цей запит.

Значення цього показника залежить від типу служби, до якої звертається користувач, від того, який користувач і до якого сервера звертається, а також від поточного стану елементів мережі -завантаженості сегментів, комутаторів і маршрутизаторів, через які проходить запит, завантаженості сервера і т. п. Тому має сенс використовувати також і середньозважену оцінку часу реакції мережі, усереднюючи цей показник по користувачах, серверах і часу дня (від якого в значній мірі залежить завантаження мережі).

Час реакції мережі звичайно складається з декількох складових. У загальному випадку в нього входить час підготовки запитів на клієнтському комп'ютері, час передачі запитів між клієнтом і сервером через сегменти мережі і проміжне комунікаційне обладнання, час обробки запитів на сервері, час передачі відповідей від сервера клієнту і час обробки одержуваних від сервера відповідей на клієнтському комп'ютері.

Ясно, що користувача розкладання часу реакції на складові не цікавить - йому важливий кінцевий результат, однак для мережевого фахівця дуже важливо виділити із загального часу реакції складові, відповідні етапам власне мережевої обробки даних, - передачу даних від клієнта до сервера через сегменти мережі і комунікаційне обладнання. Знання складових часу реакції дає можливість оцінити продуктивність окремих елементів мережі, виявити вузькі місця і в разі необхідності виконати модернізацію мережі для підвищення її загальної продуктивності.

*Пропускна здатність* відображає обсяг даних, переданих мережею або частиною в одиницю часу. Пропускна здатність вже не є призначеною для користувача характеристикою, так як вона каже про швидкість виконання внутрішніх операцій мережі – передачі пакетів даних між вузлами мережі через

різні комунікаційні пристрої. Зате вона безпосередньо характеризує якість виконання основної функції мережі - транспортування повідомлень - і тому частіше використовується при аналізі продуктивності мережі, ніж час реакції. Пропускна здатність вимірюється або в бітах в секунду, або в пакетах в секунду. Пропускна здатність може бути миттєвою, максимальною, середньою.

*Середня пропускна спроможність* обчислюється шляхом ділення загального обсягу переданих даних на час їх передачі, причому вибирається досить тривалий проміжок часу - година, день або тиждень.

*Миттєва пропускна здатність* відрізняється від середньої тим, що для усереднення вибирається дуже маленький проміжок часу - наприклад, 10 мс або 1 с.

*Максимальна пропускна здатність* - це найбільша миттєва пропускна спроможність, зафіксована протягом періоду спостереження.

Найчастіше при проектуванні, налаштуванні і оптимізації мережі використовуються такі показники, як середня і максимальна пропускні спроможності. Середня пропускна здатність окремого елемента або всієї мережі дозволяє оцінити роботу мережі на великому проміжку часу, протягом якого в силу закону великих чисел піки і спади інтенсивності трафіку компенсують один одного. Максимальна пропускна здатність дозволяє оцінити можливості мережі справлятися з піковими навантаженнями, характерними для особливих періодів роботи мережі, наприклад ранкових годин, коли співробітники підприємства майже одночасно реєструються в мережі і звертаються до файлів і баз даних.

Пропускну здатність можна вимірювати між будь-якими двома вузлами або точками мережі, наприклад, між клієнтським комп'ютером і сервером, між вхідним і вихідним портами маршрутизатора. Для аналізу і настройки мережі дуже корисно знати дані про пропускну здатність окремих елементів мережі.

Важливо відзначити, що через послідовний характер передачі пакетів різними елементами мережі загальна пропускна здатність мережі будь-якого складеного шляху в мережі буде дорівнює мінімальній з пропускних спроможностей складових елементів маршруту. Для підвищення пропускної здатності складеного шляху необхідно в першу чергу звернути увагу на найповільніші елементи - у даному випадку таким елементом, швидше за все, буде маршрутизатор. Слід підкреслити, що якщо передаваний по складовому шляху трафік буде мати середню інтенсивність, перевершуючи середню пропускну здатність найповільнішого елемента шляху, то черга пакетів до цього елемента буде рости теоретично до нескінченності, а практично - до тих

пiр, поки не заповниться його буферна пам'ять. А потiм пакети просто почнуть вiдкидатися i губитися.

Инодi корисно оперувати iз *загальною пропускнуою здатністю мережі*, яка визначається як середня кiлькiсть iнформації, переданої мiж всiма вузлами мережі в одиницю часу. Цей показник характеризує якість мережі в цiлому, не диференціюючи його по окремих сегментах або пристроях.

Зазвичай при визначеннi пропускнуї здатностi сегмента або пристрою в даних не видiляються пакети якогось певного користувача, додатки або комп'ютери - пiдраховується загальний обсяг переданої iнформації. Проте, для бiльш точної оцiнки якостi обслуговування така деталiзація бажана, i останнiм часом системи управлiння мережами все частiше дозволяють її виконувати.

Затримка передачі визначається як затримка мiж моментом надходження пакету на вхiд якого-небудь мережевого пристрою або частини мережі i моментом появи його на виході цього пристрою. Цей параметр продуктивностi за змiстом близький до часу реакції мережі, але вiдрiзняється тим, що завжди характеризує тiльки мережеві етапи обробки даних, без затримок обробки комп'ютерами мережі. Зазвичай якість мережі характеризують величинами максимальної затримки передачі i варiацією затримки. Не всi типи трафіка чутливі до затримок передачі, у всякому разі, до тих величин затримок, якi характерні для комп'ютерних мереж, - зазвичай затримки не перевищують сотень мiлісекунд, рiдше - кiлькох секунд. Такого порядку затримки пакетiв, що породжуються файлової службою, службою електронної пошти або службою друку, мало впливають на якість цих служб з точки зору користувача мережі. З iншого боку, такi ж затримки пакетiв, що переносять голосові дані або вiдеозображення, можуть призводити до значного зниження якостi iнформації - виникненню ефекту вiдлуння, неможливостi розiбрати деякі слова, тремтiння зображення i т.п.

Пропускна спроможність i затримки передачі є незалежними параметрами, так що мережа може володiти, наприклад, високою пропускнуою здатністю, але вносити значні затримки при передачі кожного пакета.

## **8.2. Надійність i безпека**

Однiєю з початкових цiлей створення розподiлених систем, до яких вiдносяться i локальнi мережі, було досягнення бiльшої надiйностi в порiвняннi з окремими обчислювальними машинами.

Важливо розрiзняти кiлька аспектів надiйностi. Для технiчних пристроїв використовуються такi показники надiйностi, як середній час напрацювання на вiдмову, iмовiрність вiдмови, iнтенсивність вiдмов. Однак цi показники



придатні для оцінки надійності простих елементів і пристроїв, які можуть перебувати тільки в двох станах - працездатному або непрацездатному. Складні системи, що складаються з багатьох елементів, крім станів працездатності та непрацездатності, можуть мати і інші проміжні стани, які ці характеристики не враховують. У зв'язку з цим для оцінки надійності складних систем застосовується інший набір характеристик.

*Готовність або коефіцієнт готовності (availability)* означає частку часу, протягом якого система може бути використана. Готовність може бути поліпшена шляхом введення надмірності в структуру системи: ключові елементи системи повинні існувати в декількох екземплярах, щоб при відмові одного з них функціонування системи забезпечували інші.

Щоб систему можна було віднести до високонадійної, вона повинна як мінімум мати високу готовність, але цього недостатньо. Необхідно забезпечити збереження даних і захист їх від спотворень. Крім цього, повинна підтримуватися узгодженість (несуперечність) даних, наприклад, якщо для підвищення надійності на декількох файлових серверах зберігається ідентичність.

Так як мережа працює на основі механізму передачі пакетів між кінцевими вузлами, то однією з характерних характеристик надійності є ймовірність доставки пакета вузлу призначення без спотворень. Поряд з цією характеристикою можуть використовуватися і інші показники: ймовірність втрати пакету (по будь-якій причині - через переповнення буфера маршрутизатора, розбіжність контрольної суми, через відсутність працездатного шляху до вузла призначення і т. д.), ймовірність спотворення окремого біта переданих даних, відношення втрачених пакетів до доставлених.

Іншим аспектом загальної надійності є *безпека (Security)*, тобто здатність системи захистити дані від несанкціонованого доступу. У розподіленій системі це зробити набагато складніше, ніж в централізованій. У мережах повідомлення передаються по лініях зв'язку, часто проходять через загальнодоступні приміщення, в яких можуть бути встановлені засоби прослуховування ліній. Іншим вразливим місцем можуть бути залишені без нагляду персональні комп'ютери. Крім того, завжди є потенційна загроза злому захисту мережі від неавторизованих користувачів, якщо мережа має виходи в глобальні мережі загального користування.

Ще однією характеристикою надійності є *відмовостійкість (fault tolerance)*. У мережах під відмовостійкістю розуміється здатність системи приховувати від користувача відмову окремих її елементів. Наприклад, якщо копії таблиці бази даних зберігаються одночасно на декількох файлових

серверах, то користувачі можуть просто не помітити відмову одного з них. У відмовостійкій системі відмова одного з її елементів призводить до деякого зниження якості її роботи (деградації), а не до повної зупинки. Так, при відмові одного з файлових серверів в попередньому прикладі збільшується тільки час доступу до бази даних через зменшення ступеня розпаралелювання запитів, але в цілому система буде продовжувати виконувати свої функції.

### **8.3. Можливість розширення і масштабованість**

Терміни розширення і масштабованість іноді використовують як синоніми, але це невірно - кожен з них має чітко визначене самостійне значення.

*Розширення, розширюваність (extensibility)* означає можливість порівняно легкого додавання окремих елементів мережі (Користувачів, комп'ютерів, додатків, служб), нарощування довжини сегментів мережі і заміни існуючої апаратури більш потужною. При цьому принципово важливо, що легкість розширення системи іноді може забезпечуватися в деяких досить обмежених межах. Наприклад, локальна мережа Ethernet, побудована на основі одного сегмента - товстого коаксіального кабелю, має гарну розширюваність, в тому сенсі, що дозволяє легко підключати нові станції. Однак така мережа має обмеження на кількість станцій - їх число не повинно перевищувати 30-40. Хоча мережа допускає фізичне підключення досегменту і більшого числа станцій (до 100), але при цьому частіше всього різко знижується продуктивність мережі. Наявність такого обмеження і є ознакою поганої масштабованості системи при хорошій розширюваності.

*Масштабованість (scalability)* означає, що мережа дозволяє нарощувати кількість вузлів і протяжність зв'язків в дуже широких межах, при цьому продуктивність мережі не погіршується. Для забезпечення масштабованості мережі доводиться застосовувати додаткове комунікаційне обладнання і спеціальним чином структурувати мережу. Наприклад, хорошою масштабованістю володіє багатосегментна мережа, побудована з використанням комутаторів і маршрутизаторів і коли мережа має ієрархічну структуру зв'язків. Така мережа може включати кілька тисяч комп'ютерів і при цьому забезпечувати кожному користувачеві мережі потрібну якість обслуговування.

### **8.4. Прозорість**

*Прозорість (transparency)* мережі досягається в тому випадку, коли мережа представляється користувачам не як безліч окремих комп'ютерів, зв'язаних між собою складною системою кабелів, а як єдина традиційна

обчислювальна машина з системою поділу часу. Відоме гасло компанії Sun Microsystems: «Мережа - це комп'ютер» - говорить саме про таку прозору мережу.

Прозорість може бути досягнута на двох різних рівнях - на рівні користувача і на рівні програміста. Нарівні користувача прозорість означає, що для роботи з виділеними ресурсами він використовує ті ж команди і звичні йому процедури, що і для роботи з локальними ресурсами. На програмному рівні прозорість полягає в тому, що додатку для доступу до виділених ресурсів потрібні ті ж виклики, що і для доступу до локальних ресурсів. Прозорість нарівні користувача досягається простіше, так як всі особливості процедур, пов'язані з розподіленим характером системи, маскуються від користувача програмістом, який створює додаток. Прозорість на рівні додатку вимагає приховування всіх деталей розподіленості засобами мережевої операційної системи.

Мережа повинна приховувати всі особливості операційних систем і відмінності в типах комп'ютерів. Користувач комп'ютера Macintosh повинен мати можливість звертатися до ресурсів, які підтримуються UNIX - системою, а користувач UNIX повинен мати можливість розділяти інформацію з користувачами Windows 2000. Переважна кількість користувачів нічого не хоче знати про внутрішні формати файлів або про синтаксис команд UNIX. Користувач термінала IBM 3270 повинен мати можливість обмінюватися повідомленнями з користувачами мережі персональних комп'ютерів без необхідності вникати в секрети важкозапам'ятовуючих адрес.

Концепція прозорості може бути застосована до різних аспектів мережі. Наприклад, прозорість розташування означає, що від користувача не потрібно знань про місце розташування програмних і апаратних ресурсів, таких як процесори, принтери, файли і бази даних. Ім'я ресурсу не повинне включати інформацію про місце його розташування, тому імена типу mashinel: prog.c або \\ftp\_serv\pub прозорими не є. Аналогічно, прозорість переміщення означає, що ресурси повинні вільно переміщатися з одного комп'ютера в інший без зміни своїх імен. Ще одним з можливих аспектів прозорості є прозорість паралелізму, яка полягає в тому, що процес розпаралелювання обчислень відбувається автоматично, без участі програміста, при цьому система сама розподіляє паралельні гілки додатку по процесорах і комп'ютерах мережі. В даний час не можна сказати, що властивість прозорості в повній мірі властива багатьом обчислювальним мережам, це скоріше мета, до якої прагнуть розробники сучасних мереж.

## 8.5. Підтримка різних видів трафіку

Комп'ютерні мережі, призначені для спільного доступу користувача до ресурсів комп'ютерів: файлів, принтерів і т. п. Трафік, що створюється цими традиційними службами комп'ютерних мереж, має свої особливості і суттєво відрізняється від трафіку повідомлень в телефонних мережах або, наприклад, в мережах кабельного телебачення. Однак 90-і роки стали роками проникнення в комп'ютерні мережі трафіку мультимедійних даних, що представляють в цифровій формі голос і відеозображення. Комп'ютерні мережі стали використовуватися для організації відеоконференцій, навчання і розваги на основі відеофільмів і т. п. Природно, що для динамічної передачі мультимедійного трафіка потрібні інші алгоритми і протоколи, і, відповідно, інше обладнання. Хоча частка мультимедійного трафіка поки невелика, він вже почав своє проникнення, як в глобальні, так і локальні мережі, і цей процес, очевидно, буде тривати зі зростаючою швидкістю.

Головною особливістю трафіка, що утворюється при динамічній передачі голосу або зображення, є наявність жорстких вимог до синхронності повідомлень. Для якісного відтворення безперервних процесів, якими є звукові коливання або зміни інтенсивності світла в відеозображенні, необхідне отримання вимірних і закодованих амплітуд сигналів з тією ж частотою, з якою вони були виміряні на передавальній стороні. При запізненні повідомлень будуть спостерігатися спотворення.

У той же час трафік комп'ютерних даних характеризується вкрай нерівномірною інтенсивністю надходження повідомлень в мережу при відсутності жорстких вимог до синхронності доставки цих повідомлень. Наприклад, доступ користувача, що працює з текстом на виділеному диску, породжує випадковий потік повідомлень між віддаленим і локальним комп'ютерами, що залежить від дій користувача по редагуванню тексту, причому затримки при доставці в певних (і досить широких з комп'ютерної точки зору) межах мало впливають на якість обслуговування користувача мережі. Всі алгоритми комп'ютерного зв'язку, відповідні протоколи і комунікаційне обладнання були розраховані саме на такий пульсуючий характер трафіку, тому необхідність передавати мультимедійний трафік вимагає внесення принципових змін, як в протоколи, так і обладнання. Сьогодні практично всі нові протоколи в тій чи іншій мірі надають підтримку мультимедійного трафіку.

Особливу складність представляє поєднання в одній мережі традиційного комп'ютерного і мультимедійного трафіку. Передача виключно мультимедійного трафіка комп'ютерною мережею хоча і пов'язана з певними

складнощами, але викликає менші труднощі. А ось випадок співіснування двох типів трафіку з протилежними вимогами до якості обслуговування є набагато більш складним завданням. Зазвичай протоколи і обладнання комп'ютерних мереж відносять мультимедійний трафік до факультативного, тому якість його обслуговування залишає бажати кращого. Сьогодні витрачаються великі зусилля по створенню мереж, які не обмежують інтереси одного з типів трафіку. Найбільш близькі до цієї мети мережі на основі технології АТМ, розробники якої спочатку враховували випадок співіснування різних типів трафіка в одній мережі.

## **8.6. Керованість**

Керованість мережі розуміють можливість централізовано контролювати стан основних елементів мережі, виявляти і вирішувати проблеми, що виникають при роботі мережі, виконувати аналіз продуктивності і планувати розвиток мережі. В ідеалі засоби управління мережами являють собою систему, яка здійснює спостереження, контроль і управління кожним елементом мережі - від найпростіших до найскладніших пристроїв, при цьому така система розглядає мережу як єдине ціле, а не як розрізнений набір окремих пристроїв.

Хороша система управління спостерігає за мережею і, виявивши проблему, активізує певну дію, виправляє ситуацію і повідомляє адміністратора про те, що сталося і які кроки зроблені. Разом з цим система управління повинна накопичувати дані, на підставі яких можна планувати розвиток мережі. Нарешті, система управління повинна бути незалежна від виробника, і володіти зручним інтерфейсом, що дозволяє виконувати всі дії з однієї консолі.

Вирішуючи тактичні задачі, адміністратори і технічний персонал стикаються з щоденними проблемами забезпечення працездатності мережі. Ці завдання вимагають швидкого рішення, обслуговуючий мережу персонал повинен оперативно реагувати на повідомлення про несправності, що надходять від користувачів або автоматичних засобів управління мережею. Поступово стають помітні більш загальні проблеми продуктивності, конфігурації мережі, обробки збоїв і безпеки даних, що вимагають стратегічного підходу, тобто планування мережі. Планування, крім цього, включає прогноз змін вимог користувачів до мережі, питання застосування нових додатків, нових мережевих технологій і т. п.

Користь системи управління особливо яскраво проявляється в великих мережах: корпоративних або публічних глобальних. Без системи управління в таких мережах потрібна присутність кваліфікованих фахівців з експлуатації в кожному будинку кожного міста, де встановлено обладнання мережі, що в

підсумку призводить до необхідності утримання величезного штату обслуговуючого персоналу.

В даний час в області систем управління мережами багато невирішених проблем. Явно недостатньо дійсно зручних, компактних і багатопроTOCOLьних засобів управління мережею. Більшість існуючих засобів зовсім не керують мережею, а всього лише здійснюють спостереження за її роботою. Вони стежать за мережею, але не виконують активних дій, якщо з мережею щось відбулося або незабаром відбудеться. Мало масштабованих систем, здатних обслуговувати як мережі масштабу відділу, так і мережі масштабу підприємства - дуже багато систем керують тільки окремими елементами мережі і не аналізують здатність мережі виконувати якісну передачу даних між кінцевими користувачами мережі.

### **8.7. Сумісність**

Сумісність або інтегрованість означає, що мережа здатна включати в себе найрізноманітніше програмне й апаратне забезпечення, тобто в ній можуть співіснувати різні операційні системи, що підтримують різні стеки комунікаційних протоколів, і працювати апаратні засоби і додатки від різних виробників. Мережа, що складається з різнотипних елементів, називається неоднорідною чи гетерогенною, а якщо гетерогенна мережа працює без проблем, то вона є інтегрованою. Основний шлях побудови інтегрованих мереж - використання модулів, виконаних відповідно до відкритих стандартів і специфікацій.

## **9. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ АСУТП**

### **9.1 Особливості ТОУ**

### **9.2 АСУТП як система функціональних завдань**

### **9.3 Алгоритмічне забезпечення завдань контролю і первинної обробки інформації**

### **9.4 Статистична обробка експериментальних даних**

### **9.5 Контроль достовірності попередньої інформації**

### **9.6 Завдання характеристики**

Ключові слова: ТОУ, особливості ТОУ, підсистеми: централізованого контролю, управління; алгоритми.

## 9.1. Особливості ТОУ

Функціональні можливості практично будь-якої системи управління (СУ) визначаються особливостями об'єкта, для якого створюється ця система. Для АСУТП об'єктом є технологічний об'єкт управління (ТОУ). З точки зору матеріально-технічної та організаційної структур виробництва, а також характеру протікання ТП, все різноманіття ТОУ можна розділити на три складові групи: безперервні, дискретні, безперервно-дискретні.

З точки зору управління по виду рівнянь зв'язку між вхідними та вихідними змінними ТОУ зазвичай класифікують на одномірні і багатовимірні, лінійні і нелінійні, з голономними і неголономними зв'язками, із зосередженими параметрами, на стаціонарні та нестаціонарні.

Найпростішими ТОУ є одномірні, стаціонарні, зосереджені, лінійні системи з голономними зв'язками, більш складними - багатовимірні, нестаціонарні, нелінійні, з розподіленими параметрами і з неголономними зв'язками.

Для об'єктів, наприклад, лісового комплексу характерні наступні особливості як об'єктів автоматизації:

- наявність різнорідних функціональних завдань, що виникають при автоматизації: контроль параметрів технологічних режимів, діагностика стану та управління режимами ТОУ. Для класу безперервних ТОУ характерні завдання стабілізації певних змінних, а для періодичних ТОУ типові завдання програмного регулювання;

- порівняно високий рівень автоматизації існуючих ТОУ, який визначається локальними системами. Цей рівень дозволяє в класі неперервних ТОУ забезпечити стаціонарність їх режимів, однак не гарантує оптимальності з точки зору техніко-економічних показників (ТЕП);

- підвищення актуальності завдання оптимізації в цілому. Зазвичай це завдання формулюється для отримання основних та побічних продуктів ТП з найменшими витратами при їх якості, регламентованої по ГОСТу, а також при наявності певних технологічних обмежень. Для її вирішення локальної автоматики недостатньо і необхідний системний підхід, тобто комплексна автоматизація. Вона пов'язана з ускладненням схем управління і переходу до багаторівневих ієрархічних САУ, а також зі збільшенням оперативної інформації про ТОУ (обчислення ТЕП, діагностичних оцінок, моделей ситуацій і т.д.);

- необхідність адаптації систем управління ТОУ до мінливих зовнішніх і внутрішніх умов (через зміни характеристик сировини в ТОУ; характеристик оброблюваного матеріалу в ТОУ або зміни характеристик обладнання ТОУ в зв'язку з падінням напруги; наявність збурень по навантаженню через включення-відключення паралельних верстатів і т.д.). така адаптація САУ може бути як локальної САУ (наприклад, підстроюванням параметрів САР), так і

глобальної, пов'язаної з підстроюванням уставок систем стабілізації, що визначають стаціонарний режим ТП і його оптимальність в цілому;

- для класу неперервних ТОУ достатньо, якщо локальні моделі будуть представлені у вигляді лінеаризованих динамічних характеристик каналів "управління - регульована змінна", "контрольоване збурення - регульована змінна" (ці моделі використовуються для синтезу локальних САР). Глобальні моделі - у вигляді статичних характеристик окремих агрегатів ТОУ і вираження для критерію оптимальності у вигляді ТЕП (техніко-економічні показники). Ці моделі використовуються для оптимізації ТОУ в цілому.

## 9.2. АСУТП як система функціональних завдань.

Аналіз особливостей ТОУ, як об'єктів автоматизації, дозволяє сформулювати положення, що визначають склад функціональних завдань, які повинна вирішувати АСУТП:

1. Основні завдання управління ТОУ завжди формуються як оптимізаційні;
2. Серед завдань контролю і управління є певна ієрархічність.

Зазначене, в результаті, визначає склад найбільш важливих завдань, що часто зустрічаються, які повинні вирішуватися в відповідних функціональних підсистемах АСУТП (рис 9.1)

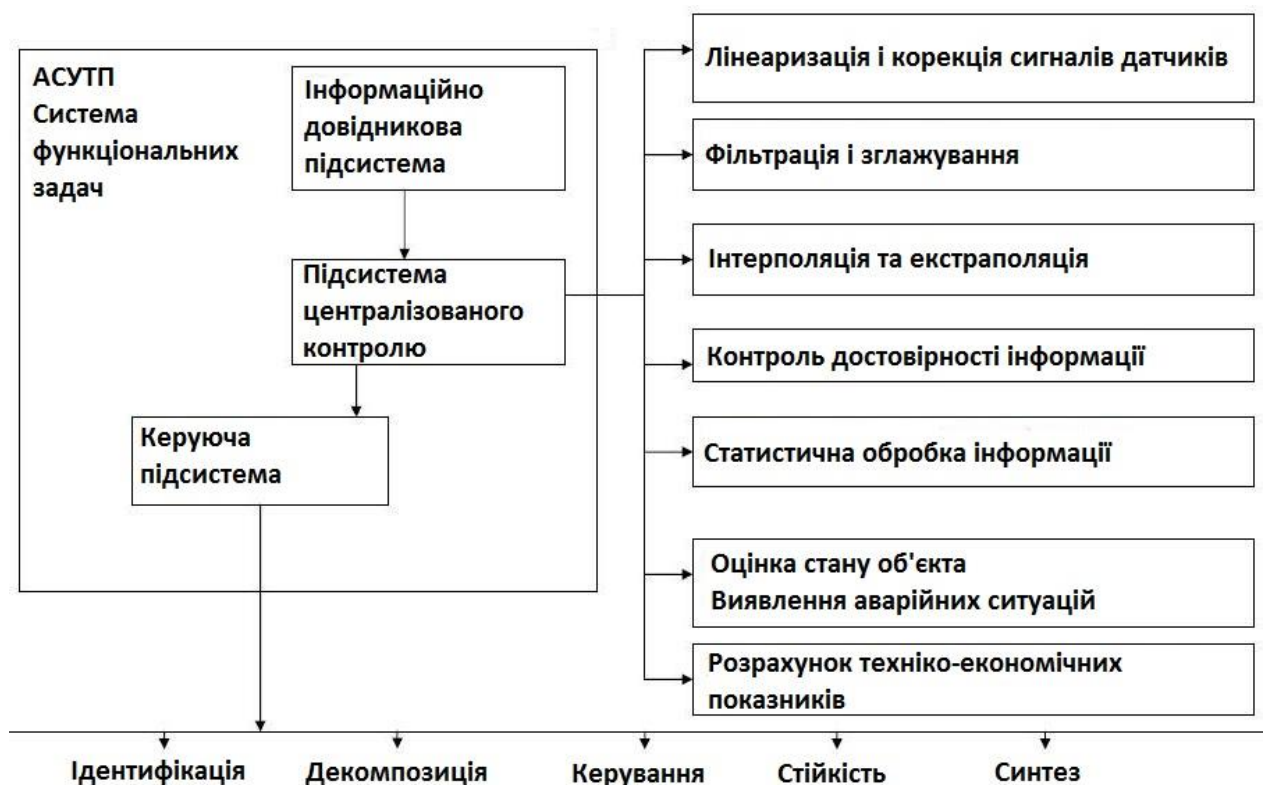


Рис.9.1 АСУТП як система функціональних завдань

У системах АСУТП виділяється 5 класів типових задач управління (табл. 9.1)



Табл. 9.1 Класи АСУТП

| Задача АСУТП                             | Зв'язок (алгоритм)                      |                                    |                             |              |                      |
|--|---|------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|
|  | З ЕОМ                                   | З об'єктом                         | З документом                | З оператором | З ЕОМ вищого порядку |
| Первинна обробка інформації              | Організація збору інформації            | Циклічний по групах, по пріоритету | немає                       | По виклику   |                      |
|  | Визначення статистичних моментів        | Розімкнутий періодичний            | Вивід на друк               |              |                      |
|  | Оцінка стану                            | Розімкнутий постійний              | Вивід на друк               |              | Прямий               |
|  | Прогноз дій                             | Замкнутий періодичний              |                             | Є індикація  | Зворотній            |
|  | Статистичний контроль                   | Розімкнутий періодичний            | Вивід на друк               |              |                      |
|  | Розрахунок непрямих параметрів          | Розімкнутий періодичний            | Вивід на друк               |              |                      |
|  | Виявлення функцій розподілу             | Розімкнутий епізодичний            |                             | Індикація    |                      |
| Ідентифікація (активні і пасивні методи) | Алгоритми генерування сигналів          | Розімкнутий епізодичний            |                             | Є            |                      |
|  | Визначення статистичної моделі          | Замкнутий періодичний              | Друк коефіцієнту регресії   | Є            | Є                    |
|  | Визначення динамічної моделі            | Замкнутий періодичний              | Друк основних характеристик | Є            |                      |
|  | Визначення функцій чутливості           | Замкнутий епізодичний              | Друк                        | Є            |                      |
| Статистична оптимізація                  | Методи планування експерименту          | Розімкнутий періодичний            | Друк оптимального режиму    | Є            |                      |
|  | Методи екстремального регулювання       | Замкнутий постійний                |                             |              |                      |
|  | Адаптивні алгоритми                     | Замкнутий епізодичний              |                             |              | Є                    |
|  | Програмне оптимальне керування          | Розімкнутий постійний              | Введення інформації з носія | Є            |                      |
| Динамічна оптимізація                    | Керування із зворотнім зв'язком         | Замкнутий постійний                |                             |              |                      |
|  | Керування по збуренню                   | Замкнутий постійний                |                             |              |                      |
| Керування заданою якістю                 | Типові алгоритми регулювання П, ПІ, ПІД | Замкнутий постійний                |                             |              |                      |
|  | Компенсація збурень                     | Замкнутий постійний                |                             |              |                      |
| Пуск, зупинка                            |   | Розімкнутий разовий                |                             | Є            |                      |
| Аналіз аварійних ситуацій                |   | Розімкнутий постійний              | Друк                        | Є            |                      |

### **9.3. Алгоритмічне забезпечення задач контролю та первинної обробки інформації**

#### **9.3.1. Призначення алгоритмів контролю.**

Алгоритми централізованого контролю призначені для збору та передачі вимірювальної інформації від датчиків, встановлених на ТОУ, а також для первинної обробки цієї інформації з метою:

- визначення поточних і прогнозованих значень вимірюваної величини і оцінки невимірюваних шуканих величин по опосередкованих параметрах;
- обчислення облікових і техніко-економічних величин по опосередкованих параметрах;
- виявлення порушень і несправностей на виробництві, що потребують негайного управління.

Результати первинної обробки є тими вихідними даними, по яких розраховуються всі вихідні параметри алгоритмів управління.

Більшість результатів первинної обробки використовується для оперативного формування управляючих впливів, тому відповідні завдання первинної обробки повинні вирішуватися в реальному масштабі часу. Однак, деякі показники, наприклад, техніко-економічні (за час, зміну і т.п.), є вихідною інформацією не в системі АСУТП, а передаються на вищий рівень. Така інформація звичайно обробляється у зменшеному масштабі часу.

Завдання розробки алгоритмів контролю формується наступним чином: задані всі вихідні величини (в тому числі показники іподії), які повинна визначати підсистема контролю, і вказані необхідні параметри кожної вихідної величини (точність її визначення, частота видачі оператору або в інші підсистеми, форма видачі і т.д.); є сукупність вимірювальних засобів, які можуть бути використані в якості джерела вихідної інформації для визначення заданих вихідних величин. Потрібно визначити раціональний комплекс алгоритмів, що будуть обробляти сигнали датчиків в шукані вихідні величини і задовільнить задані вимоги на параметри вихідних величин.

До завдань контролю належать: лінеаризація і корекція, фільтрація і згладжування сигналів датчиків, екстра-та інтерполяція даних по дискретним вимірами, контроль достовірності одержуваної інформації, обчислення різних статистичних характеристик сигналів датчиків, оцінка стану об'єкта при наявності шумів вимірів і доступних виміру ряду змінних, виявлення аварійних ситуацій та діагностика в ТОУ, розрахунок ТЕП.

Після визначення комплексу вихідних величин, виданих підсистемою контролю, і встановлення сукупності вимірювальних засобів, вони можуть бути використані в якості джерел вихідної інформації на автоматизованому об'єкті для розробки блок-схем переробки сигналів датчиків в шукані вихідні величини підсистеми централізованого контролю. Для цього слід скористатися поділом всього процесу переробки вимірювальної інформації на ряд послідовно виконуваних типових операцій. Послідовність виконання операцій наступна:

- аналітичне градування датчиків;
- екстра- та інтерполяція дискретно вимірюваних величин;
- контроль достовірності інформації про процес;
- визначення сумарних і середніх значень величин за задані інтервали часу;
- корекція динамічного зв'язку між вимірюваною і шуканою величиною і т.д.

Необхідно по кожній заданій вихідній величині провести набір операцій, які здійснюють її формування з наявних вимірювальних сигналів, і вказати послідовність виконання цих операцій.

Розглянемо коротко алгоритми деяких з перелічених обчислювальних операцій.

### 9.3.2. Аналітичне градування і корекція показів датчиків

Значення вихідного сигналу датчика  $y$  пов'язано з вимірюваною величиною  $x$  в загальному випадку монотонною залежністю  $y = f(x)$ . Для задач управління необхідно знати справжнє значення вимірюваної величини  $x$ , тому виникає необхідність обчислити  $x$  по значенням показника датчика  $y$ , тобто знаходження функціональної залежності

$$x = f(y) = F^{-1}(y). \quad (9.3.1.)$$

Завдання вирішується просто, якщо зазначена залежність лінійна. У разі якщо функція  $F^{-1}(y)$  є нелінійною, то використовують або метод лінійної інтерполяції табличного значення  $F(x)$  або апроксимацію функції  $F^{-1}(y)$  за допомогою поліноми степеня  $P_n(y)$ .

Для більшості датчиків механічних і електричних величин, датчиків рівня і деяких інших характерна лінійна залежність:

$$y = ax + b, \text{ тоді}$$

$$x = \frac{y - b}{a} \quad (9.3.2.)$$

Якщо функція  $f(y)$  є нелінійною, можна висловити її з допомогою відомих алгебраїчних і трансцендентних функцій, проте цей шлях досить складний і застосовується рідко. Зазвичай функція  $F(x)$  задається в табличному вигляді, наприклад, по експериментально знятим точкам в діапазоні передбачуваних вимірювань. Найпростішим алгоритмом знаходження  $x$  при цьому вважається лінійна інтерполяція таблиці з заданим кроком  $\Delta x$ .

Недоліком такого алгоритму є великий обсяг пам'яті ЕОМ, тому що необхідно запам'ятовувати всю таблицю. Тому найбільш зручним методом виявляється апроксимація функції  $f(y)$  за допомогою статичного полінома

$$P_n(y) = a_0 + a_1y + \dots + a_ny^n$$

При цьому обсяг обчислень малий, а в пам'яті машини зберігаються тільки  $n$  коефіцієнтів полінома (зазвичай  $n$  невелика). Для обчислення значень полінома в будь-якій точці застосовується схема Горнера, коли апроксимація  $f(y)$  записується у вигляді

$$P_n(y) = (((\dots (a_ny + a_{n-1})y + a_{n-2})y + \dots a_1)y + a_0 \quad (9.3.3.)$$

Коефіцієнти полінома  $a_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) заносяться в пам'ять машини в порядку спадання номерів їх індексів. Блок-схема алгоритму приведена на рис 9.1

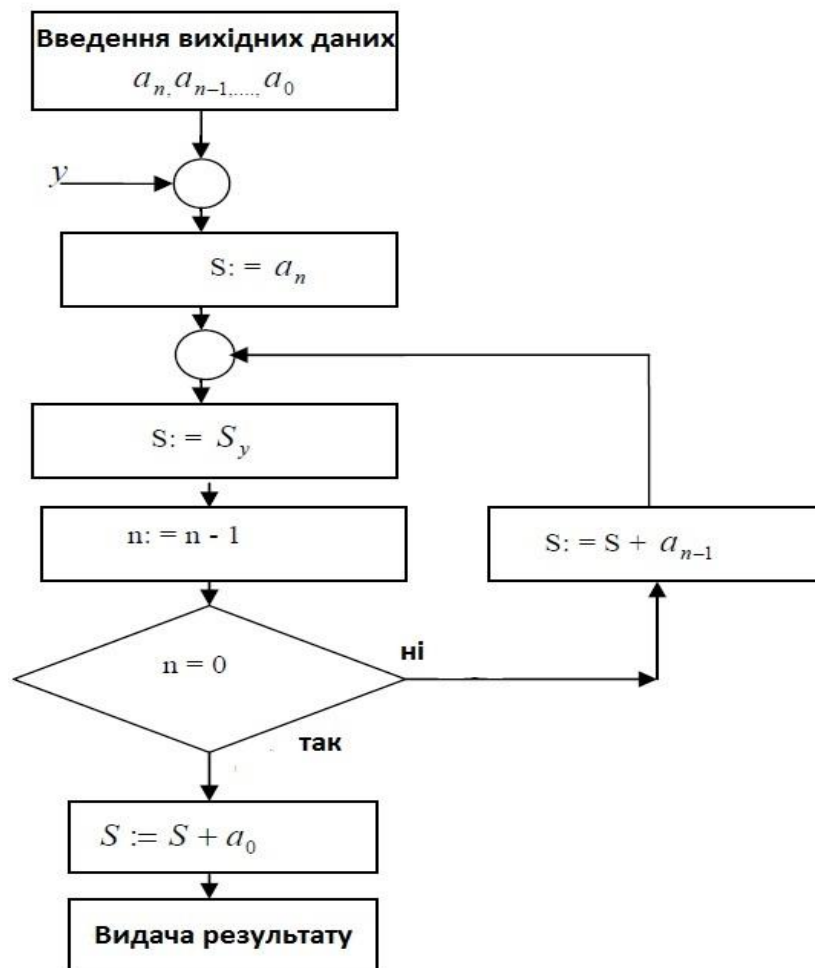


Рис.9.1 Блок-схема алгоритму апроксимації за схемою Горнера

Апроксимацію табличних даних зазвичай проводять або поліномом рівномірного найкращого наближення, або з допомогою полінома регресії. У першому випадку отриманий поліном дає мінімальне значення максимальної помилки лінеаризації в діапазоні апроксимації, у другому - мінімальне значення середньоквадратичної похибки (при фіксованому ступені полінома  $n$ ).

Для зменшення часу обчислень і необхідної пам'яті ЦВМ бажано вибирати апроксимуючий поліном найменшого степеня, але який забезпечує допустиму похибку  $\Delta x_{\text{дон}}$ . При апроксимації поліномом рівномірного найкращого наближення має виконуватися вимога

$$[\delta_i] \leq \delta_{\text{max}} \leq \Delta x_{\text{дон}} \quad (9.3.4.)$$

де  $\delta_i$  - похибка апроксимації в кожній заданій точці  $y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , що виражається формулою:

$$\delta_i = P_n(y_i) - x_i$$

Цю умову можна записати у вигляді

$$\delta_{\text{max}} + P_n(y_i) - x_i \geq 0 \quad (9.3.5.)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$\delta_{\text{max}} + x_i - P_n(y_i) \geq 0 \quad (9.3.6.)$$

$$\delta_{\text{max}} \geq 0 \quad (9.3.7.)$$

Для полінома рівномірного найкращого наближення потрібно знайти мінімум лінійної форми, якою в даному випадку є величина

$$L_n = \delta_{\text{max}}(a_n, \dots, a_0) \rightarrow \min \quad (9.3.8.)$$

$$\{a_i\}$$

Це завдання зводиться до задачі лінійного програмування, де (9.3.8.) є цільовою функцією, а (9.3.5.) ÷ (9.3.7.) обмеженнями. Якщо допустима величина помилки  $\Delta x_{\text{дон}}$  менше  $L_n$ , слід збільшити ступінь полінома на одиницю, знайти для нього  $L_{n+1}$  і знову перевірити нерівність  $\Delta x_{\text{дон}} \geq L_{n+1}$ .

Отже, якщо апроксимуючий поліном є, значення вимірюваної величини обчислюються за схемою Горнера на основі показань датчика; якщо апроксимуючий поліном не заданий і в пам'яті ЦВМ записана вся градуїрована таблиця, то розрахунок значень проводиться по інтерполяційній формулі.

У ряді АСУТП інформація про вимірювані параметри виражається в ЕОМ правильним дробом  $\alpha$ , змінюється від 0 до 1 при зміні параметра від

мінімального до максимального значення. Тоді обчислення абсолютних величин тиску, переміщення, обсягу, здійснюється за формулою:

$$P_t = P_{max} \times \alpha \quad (9.3.9)$$

де  $P_t$  - поточне значення параметра (кг/см<sup>2</sup>, м, м<sup>3</sup>);

$P_{max}$  - максимальне значення шкали датчика відповідного параметра.

Перетворення температурних (параметрів) сигналів здійснюється за формулою:

$$\theta_t = \theta_{min} + (\theta_{max} - \theta_{min}) \alpha, \quad (9.3.10.)$$

де  $\theta_{max}$ ,  $\theta_{min}$  - максимальне та мінімальне значення шкали датчика температури (°C).

Об'ємні (м<sup>3</sup>/год) і вагові (кг/год) витрати визначаються відповідно за формулами:

$$\theta_t = \theta_{max} \sqrt{\alpha} \quad (9.3.11.)$$

$$G_t = G_{max} \sqrt{\alpha} \quad (9.3.12.)$$

### 9.3.3. Фільтрація і згладжування

Задача фільтрації по Вінеру формулюється наступним чином. Нехай вхідний сигнал являє собою випадковий процес  $Z(t)$  при  $-\infty < t < \infty$  і нехай  $Z(t)$  являє собою суміш (необов'язково аддитивну) корисного сигналу  $y(t)$  і перешкоди  $\xi(t)$ . Потрібно побудувати систему (фільтр) такої обробки вхідного сигналу, яка дозволила б отримати на виході бажаний сигнал  $d(t)$ , що є результатом певної операції  $L$  над одним лише корисним сигналом  $x(t)$ :  $d(t) = L \{x(t)\}$ .

Зазвичай розглядають такі окремі випадки:

а)  $d(t) = x(t) (-\alpha)$  - завдання фільтрації і згладжування;

б)  $d(t) = x(t)$  - завдання чистої фільтрації;

в)  $d(t) = y(t) (+\alpha)$  - задача фільтрації і попередження; де  $\alpha > 0$ .

При  $\xi(t) = 0$  завдання (а) і (в) визначаються як завдання чистого згладжування і попередження відповідно.

Існують найрізноманітніші фільтри (Вінера, Калмана, спрощений фільтр Калмана,  $(\alpha - \beta)$  фільтр і т.д.) відрізняються своїми характеристиками. Вибір фільтра визначається низкою суперечливих факторів (вимогами системи до

точності об'єкта, відносної точністю фільтрів, чутливістю характеристик системи до зміни параметрів моделі, вимогами фільтрів до обчислювальних засобів і т.д.), тому виходять з компромісного рішення між точністю фільтра, його вимогами до обчислювальних засобів і обмеженнями системи.

З точки зору вимог до обсягу обчислень вигідно використовувати фільтр експоненціального згладжування (ЕЗ):

$$y(t) = \gamma e^{\gamma t}$$

де  $\gamma$  - параметр фільтра.

Порівняння реалізацій фільтра в безперервному і дискретному варіанті показало, що дискретний фільтр має практично більші переваги при використанні його в системі централізованого контролю. Всякий дискретний фільтр описується рівнянням різниці:

$$\begin{aligned} a_n x(i-n) &= a_{n-1} x(i-n+1) + \dots + a_0 x(i) = \\ &= b_m d(i-m) + b_{m-1} d(i-m+1) + \dots + b_0 d(i) \end{aligned} \quad (9.3.13)$$

де  $x(i)$  - дискретний вхідний сигнал,

$d(i)$  - дискретний вихідний сигнал.

З - перетворення рівняння (9.3.13) дозволяє отримати вираз для передавальної функції фільтра в наступному вигляді:

$$Y(z) = \frac{d(z)}{x(z)} = \frac{a_n z^{-n} + \dots + a_0}{b_m z^{-m} + \dots + b_0} \quad (9.3.14)$$

Для фільтра експоненціального згладжування (ЕЗ)

$$Y(z) = \frac{\gamma z}{z + \gamma - 1} \quad (9.3.15)$$

Для реалізації на ЦВМ фільтра ЕЗ отримано вираз:

$$\begin{aligned} d_n &= x_n + \xi_n + (1-\gamma)[x_{n-1} + \xi_{n-1}] + \dots \\ &+ (1-\gamma)^{n-1}[x + \xi_1] + (1-\gamma)^n[x + \xi_0] \end{aligned} \quad (9.3.16)$$

де  $x_n$  - значення вхідного сигналу в момент часу  $t = nT$

( $T$  - інтервал дискретності)

$\xi_n$  - значення перешкоди в момент  $t = nT$

$\gamma$  - параметр фільтра ( $0 \leq \gamma \leq 1$ )

В рекурентній формі співвідношення (8.3.16) має вигляд:

$$d[n] = \gamma z[n] + (1 - \gamma) d[n-1] \quad (9.3.17)$$

$$\text{де } z[n] = x[n] + \zeta n \quad (9.3.18)$$

Згладжування є окремим випадком загальної задачі фільтрації сигналу.

#### 9.3.4. Інтерполяція і екстраполяція

Інтерполяція - побудова наближеного або точного аналітичного вираження функціональної залежності, коли про неї відомо тільки співвідношення між аргументом і відповідними значеннями функції в кінцевому ряді точок - має наступні застосування в АСУТП:

- лінеаризація та інтерполяція сигналів датчиків;
- формування безперервно-змінного сигналу по коефіцієнту тимчасового полінома або числовий програмів системах програмного регулювання;
- отримання аналітичного виразу статичної (зазвичай в вигляді квадратичної форми від входніх впливів) або динамічної (зазвичай у вигляді дрібно-раціональної передавальної функції) характеристик по експериментально отриманих точках в задачах ідентифікації та характеристизації;
- отримання аналітичного виразу кореляційних функцій або спектральних густин при статистичній обробки даних;
- перехід від однієї форми математичного опису до іншого в задачах характеристизації;
- інтерполяція таблиць, номограм, діаграм, що зберігаються в пам'яті ЕОМ, для визначення будь-яких параметрів, наприклад, параметрів ПД-регулятора за номограмами.

Для інтерполяції функції по точних значеннях застосовують інтерполяційні формули:

- при лінійній інтерполяції значення функції  $f$  в точці ( $x_i < x < x_{i+1}$ ) береться рівним

$$\hat{f}(x) = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} [f(x_{i+1}) - f(x_i)] \quad (9.3.19)$$



- при інтерполяції по Лагранжу, коли відомі значення функції в  $m$  точках  $x_1, \dots, x_m$ , утворюється многочлен ступеня  $(m - 1)$ :

$$L(x) = \hat{f}(x) = \sum_{k=1}^m f(x_k) \frac{(x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_m)}{(x - x_1)(x_k - x_2) \dots (x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1})} \quad (9.3.20)$$

- при інтерполяції по Ньютону, коли відомі значення функції в  $m$  точках  $x_1, \dots, x_m$ , розташованих на рівних відстанях один від одного, утворюється многочлен:

$$P_{m-1}(x) = f(x) = f(x_1) + \frac{t}{1!} \Delta f + \frac{t(t-1)}{2!} \Delta^2 f + \dots + \frac{t(t-1) \dots (t-m)}{(m-1)!} \Delta^{m-1} f \quad (9.3.21)$$

де  $t = \frac{x - x_1}{h};$

$$\Delta f = f(x_2) - f(x_1); \quad \Delta^2 f = f(x_3) - 2f(x_2) + f(x_1);$$

$$\Delta^k f = f(x_{k+1}) - C_k^1 f(x_k) + C_k^2 f(x_{k-1}) - \dots + (-1)^k f(x_1)$$

Завдання інтерполяції при наявності перешкод вимірів називається завданням згладжування.

**9.3.5. Екстраполяція** - поширення результатів, отриманих із спостережень над однією частиною явища на іншу його частину, недоступну для спостереження. Має наступне застосування в АСУТП:

- підвищення якості управління (швидкодії, стійкості і т.п.), зазвичай - за рахунок введення в закон управління похідних;
- передбачення (прогнозування) збурюючих впливів або збурюючого руху при створенні оптимальних систем комбінованого типу, що містять дві складових управління, з яких одна є функцією поточного стану, а друга - функцією передбаченого збурення;
- передбачення положення в стаціонарній точці в задачах планування екстремальних експериментів або екстремального регулювання для прискорення процесу пошуку;
- передбачення аварійних ситуацій і рідковимірюваних змінних, коли для управління процесом потрібно частіше опитування змінних, ніж реально можливе.

Розглянемо постановку задачі екстраполяції в умовах перешкод. Нехай послідовність вимірювань в дискретні моменти опитування має вигляд

$$y_i = x_i + \xi, i = 1, 2, \dots$$

де  $x_i$  - регулярна складова,

$\xi$  - випадкова перешкода вимірювання з нульовим середнім і дисперсією  $\sigma^2_\xi$ ,

$i$  - моменти опитування.

Будемо шукати регулярну складову (тимчасову модель вимірюваної змінної) в одному з наступних видів:

$$\sum_{j=0}^m \frac{a_j}{j!} - i^j$$

- поліноміальна модель

$$x_i = \sum_{j=0}^m a_j e^{-\frac{i}{T_j}}$$

- експоненціальна модель (9.3.22)

$$\sum_{j=0}^m a_j \sin(\omega_j i + \varphi_j)$$

- тригонометрическая модель

Як критерій передбачення зазвичай вибирають середньоквадратичну помилку (СКП) між передбаченим на  $k$  тактів (зазвичай  $k = 1$ ) і фактичними значеннями:

$$\epsilon^2 = M \{ (x_{i+1} - y_{i+k})^2 \} \rightarrow \min$$

(9.3.23)

$\{a_j\}$

Це завдання вирішується в декілька етапів:

- вибирається інтервал спостереження (або кількість вихідних для передбачення вимірів;
- за критерієм мінімуму СКО обчислюються оцінки коефіцієнтів  $\{a_j\}$ , що забезпечують найкращу інтерполяцію вихідних вимірів прийнятої моделі (цю процедуру називають згладжуванням);
- модель процесу зі знайденим коефіцієнтом використовують для передбачення.

Кількість вихідних точок не може бути нижче порядку  $m$  моделі. При їх рівності коефіцієнти знаходяться однозначно з  $m$  рівнянь, проте, точність тут невисока через наявність перешкод. Зазвичай використовують значно більше число вимірювань, при цьому надлишкову інформацію використовують для підвищення точності передбачення. Інтервал між вимірами беруть рівним  $(0,10 \dots 0,25) T_c$ .

У більшості випадків прогноз можна здійснювати і без побудови часової моделі змінної. Застосовують такі алгоритми передбачення:

- ступінчасту апроксимацію, коли передбачуване значення змінної збігається з її величиною (при згладженій заваді) в останній точці виміру (цей метод не вимагає ніяких обчислень, однак його похибка максимальна в порівнянні з іншими алгоритмами) - дисперсія помилки передбачення на час  $\Delta t$  для ергодичного процесу дорівнює:

$$\hat{\epsilon}^2 = 2[R_y(0) - R_y(\Delta t)] + \sigma_\epsilon^2 \quad (9.3.24)$$

де  $R_y$  - кореляційна функція процесу  $y(t)$ .

Найкращі результати дає дискретний фільтр-екстраполятор Калмана-Б'юсі. Однак тут потрібні найбільш трудомісткі обчислення. Для стаціонарних процесів близькі до максимально досяжним результатами дає фільтр Вінера:

$$x_{i+k} = \sum_{j=0}^m a_j y_{i-j} \quad (9.3.25)$$

де  $m$  - пам'ять фільтра,

$\{a_j\}$  - коефіцієнти, що налаштовуються за критерієм мінімуму СКВ передбачення.

#### 9.4. Статистична обробка експериментальних даних

Важливим моментом завдання дослідження і управління ТОУ є обробка великого потоку експериментальної інформації, що має, як правило, випадковий характер. І це обумовлює необхідність використання методів математичної статистики для вилучення цінної інформації з експериментальних даних. З урахуванням необхідності роботи АСУТП в реальному масштабі часу, статистична обробка інформації повинна бути оперативною. Тобто обробка повинна здійснюватися в ході експерименту в темпі надходження інформації безпосередньо від досліджуваних об'єктів за мінімальний час і з отриманням результатів обробки у вигляді, зручному для подальшого використання. У зв'язку з цим для забезпечення оперативності обробки експериментальної інформації повинні використовуватися прості методи і алгоритми статистичної обробки.

Метою оперативної статистичної обробки експериментальної інформації в рамках аналізу реалізацій випадкових процесів є отримання системи статистичних оцінок з певною довірчою ймовірністю і точністю в реальному масштабі часу.

Оцінки щільності ймовірностей емпіричних розподілів у вигляді багатовимірному функціоналу за умови стаціонарності і ергодичності випадкових процесів  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  – є вичерпною характеристикою сукупності процесів  $\{x_k(t)\}$ .

Це дає можливість в рамках кореляційно-регресійного аналізу отримати функції кореляції, дисперсій, спектральних щільностей, безумовних і умовних математичних очікувань і інших числових характеристик, пов'язаних з фізичними параметрами об'єкту, а також помилки (дисперсії або СКО), спектральні характеристики і т.д., за якими можна судити про якісний стан об'єкта.

Розглянемо деякі алгоритми статистичної обробки експериментальної інформації.

#### 9.4.1. Методи визначення функцій розподілу

Відомі такі методи визначення функцій розподілу:

- метод зміни відносного часу перебування реалізації випадкового процесу вище заданого рівня;
- метод, заснований на розкладанні функції розподілу в ряд по ортонормованим функціям;
- метод, заснований на розкладанні функції розподілу в ряд по моментам;
- метод гістограм.

Перший метод заснований на співвідношенні

$$1 - F(x_0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum \{ \Delta t_i [x(t) > x_0] \} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{t}{T} \quad (9.4.26)$$

де  $F(x_0)$  - інтегральна функція розподілу,

$T$  - час аналізу,

$t = \sum \{ \cdot \}$  - сума інтервалів часу протягом  $T$ , коли реалізація  $x(t)$  перевищує  $x_0$ .

При досить великих  $T$  алгоритм обчислення ординат  $F(x_0)$  визначається співвідношенням:

$$1 - F(x_0) \cong \frac{t}{T} \quad (9.4.27)$$

Для обчислення ординат диференціального закону розподілу  $f(x)$  можна скористатися співвідношенням:

$$F(x) = \frac{\Delta F(x)}{\Delta x} \cong \frac{\sum \Delta t_{ij}}{T \Delta x} \quad (9.4.28)$$

де  $\sum \Delta t_{ij}$  - сумарний час перебування реалізації випадкового процесу  $x(t)$  в рівних інтервалах  $\Delta x$ , що задаються нарізних рівнях.

Другий метод заснований на поданні щільності ймовірності у вигляді

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \Psi_n(x) \quad (9.4.29)$$

де  $\Psi_n(x)$  - система ортонормованих функцій,

$$C_n = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_n(x) f(x) dx$$

- коефіцієнти Фур'є.

Оскільки  $x(t)$  - реалізація випадкового процесу, отже

$$C_n = M \{ \Psi [x(t)] \}$$

де  $M$  - символ математичного очікування

$$M \{ \Psi_n [x(t)] \} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \Psi_n [x(t)] dt,$$

тобто коефіцієнти  $C_n$  можуть бути визначені усередненням у часі функцій  $\Psi_n[x(t)]$  досліджуваного випадкового процесу.

Таким чином, алгоритм знаходження оцінки  $f(x)$  з цього методу наступний:

1. Виконати перетворення

$$y_n(t) = \Psi_n[x(t)]$$

2. Отримати оцінку математичного очікування

$$\hat{C}_n = \frac{1}{T} \int_0^T y_n(t) dt$$

3. Зайти оцінку щільності ймовірності

$$\hat{f}(x) = \sum_{n=1}^k \hat{C}_n \Psi_n(x)$$

Вибираючи певну кількість фільтрів, можна отримати хороше наближення  $\hat{f}(x)$  до шуканої  $f(x)$ .

Оцінка інтегральної функції розподілу знаходиться з співвідношення:

$$\hat{F}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx$$

Третій метод багато в чому аналогічний попередньому і відрізняється лише тим, що розкладання шуканої функції щільності ймовірності проводиться за системою функцій, яка не є ортонормованою, внаслідок чого алгоритм виходить менш ефективним, ніж в попередньому випадку.

Метод гістограм найбільш часто використовується на практиці для оперативної оцінки багатовимірних щільностей ймовірностей.

Вибірki випадкового стаціонарного процесу кодуються, розподіляються за фіксованими адресами ОЗУ, що приймається за канали гістограм. Одночасно формуються числові значення ординат гістограм, що реалізують алгоритм обчислення оцінки багатовимірної щільності ймовірності  $\hat{f}[x_k(t)]$ .

Числове значення кожної ординати в разі одновимірного аналізу характеризує частоту появи значень випадкової функції у відповідному інтервалі квантування за рівнем. У випадку багатовимірного аналізу воно визначає частоту появи спільної події, при якій значення випадкових функцій знаходяться в певних інтервалах квантування по рівню (по амплітуді).

Практична складність використання алгоритмів обчислення багатовимірних гістограм заключається в необхідності об'єму фіксованих адрес. Для усунення цієї проблеми буває доцільним замінити оцінки багатовимірної щільності ймовірності системою оцінок власних і змішаних двовимірних щільностей ймовірностей, що охоплюють всі комбінації парних зв'язків для кількох аргументів. При такій заміні необхідний обсяг пам'яті ЦВМ різко знижується.

#### **9.4.2. Методи визначення математичного очікування.**

Найбільш поширеним завданням є завдання визначення математичного очікування або середнього значення випадкового процесу  $m_1\{x\}$ . Для визначення  $m_1\{x\}$  зазвичай застосовують метод усереднення за часом, який має

ряд модифікацій. При використанні даних в дискретні моменти оцінка  $m_1\{x\}$  визначається співвідношенням:

$$\hat{m}_1\{x\} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x[i\Delta t], \quad (9.4.30)$$

де  $N = \frac{T}{\Delta t} - 1$   
де  $N$  - кількість спостережень

Можливо, знаходження оцінки середнього значення попередньо знайденої оцінці диференціального закону розподілу  $\hat{f}(x)$ :

$$\hat{m}_1\{x\} = \int_{-\infty}^{\infty} x \hat{f}(x) dx \quad (9.4.31)$$

Якщо  $\hat{f}(x)$  визначається по реалізації випадкового процесу тривалістю  $T$  одночасно для всіх значень  $x$ , то оцінка середнього, отримана цим способом, тотожно збігається з оцінкою, отриманою усередненням цієї реалізації за той же інтервал часу.

Методи визначення моментних характеристик на порядок вище першого аналогічні методам, використовуваним при знаходженні оцінки  $m_1\{x\}$ . Так, визначення оцінки для початкового моменту  $k$ -го порядку для дискретних спостережень за формулою:

$$\hat{m}_k\{x\} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x^k[i\Delta t]$$

Оцінку перших чотирьох початкових моментів використовують для визначення оцінок дисперсії, асиметрії, ексцесу.

Оцінка дисперсії:

$$\hat{\sigma}^2\{x\} = \hat{m}_2\{x\} - (\hat{m}_1\{x\})^2 \quad (9.4.32)$$

Оцінка коефіцієнта асиметрії:

$$\hat{K}\{x\} = \frac{[\hat{m}_3\{x\} - 3\hat{m}_1\{x\}\hat{m}_2\{x\} + 2(\hat{m}_1\{x\})^3]}{[\hat{m}_2\{x\} - (\hat{m}_1\{x\})^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (9.3.33)$$

Оцінка ексцесу:

$$\hat{\gamma}^2 \{x\} = \frac{\hat{m}_4 \{x\} - 4\hat{m}_3 \{x\} \hat{m}_1 \{x\} + 6\hat{m}_2 \{x\} (\hat{m}_1 \{x\})^2 - 3(\hat{m}_1 \{x\})^4}{[\hat{m}_2 \{x\} - (\hat{m}_1 \{x\})^2]^2} \quad (9.4.34)$$

Обчислення оцінки умовної дисперсії здійснюється за формулою:

$$\hat{\sigma}^2 \{x(t) / y_n(t + \tau)\} = \hat{m}_2 \{x(t) / y_n(t + \tau)\} - [\hat{m}_1 \{x(t) / y_n(t + \tau)\}]^2 \quad (9.4.35)$$

### 9.4.3. Методи визначення функцій кореляції

Завдання експериментального визначення функцій кореляції є однією з найбільш важливих і широко поширених на практиці досліджень випадкових процесів. Розроблено численні методи визначення кореляційних функцій. Розглянемо найбільш поширені з цих методів.

Мультиплікаційний метод є основним методом експериментального визначення функцій кореляції. В разі дискретних спостережень оцінки кореляційної функції обчислюють за формулою:

$$\hat{R}_{xy}(\tau) = \frac{1}{N-n} \sum_{i=0}^{N-n-1} x[i\Delta t]y[(i+n)\Delta t], \quad \tau = n\Delta t \quad (9.4.36)$$

При цьому передбачається, що  $m_1\{x\}$  і  $m_1\{y\}$  відомі і рівні нулю. Розглянемо алгоритм машинної оперативної кореляційної обробки випадкового дискретного процесу, представлений у вигляді послідовності  $\{x_{ij}\}$  вибірки, по алгоритму

$$\hat{R}_{xx}(\tau) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i(t)x_i(t+\tau) \quad (9.4.37)$$

Метод розкладання функції кореляції в ряд. Цей метод також має широке поширення. Найчастіше використовується розкладання по ортогональних поліномах Лаггера  $L_n(\alpha\tau)$ .

Відомо, що автокореляційна функція може бути представлена у вигляді ряду:

$$R_{xx}(\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n L_n(\alpha\tau)$$



$$b_n = \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-\alpha\tau} \alpha L_n(\alpha\tau) d\tau = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y_n(t) dt$$

$$y_n(t) = \int_0^{\infty} x(t-\tau) \alpha e^{-\alpha\tau} L_n(\alpha\tau) d\tau$$

де

Таким чином, завдання отримання коефіцієнтів  $b_n$  може бути вирішено шляхом усереднення за часом добутку вихідної реалізації  $x(t)$  і цієї ж реалізації, пропущеної через лінійний фільтр з ваговою функцією:

$$h_n(\tau) = \alpha e^{-\alpha\tau} L_n(\alpha\tau)$$

що відповідає передавальній функції фільтра:

$$W_n = \frac{\alpha p^n}{(\alpha + p)^{n+1}}$$

За знайденим значенням можна визначити шукану функцію кореляції

$$R_{xx}(\tau) = \sum_n^{k-1} b_n L_n(\alpha\tau), \quad (9.4.38)$$

де  $k$  - число фільтрів Лаггера ( $k = 5 \dots 6$ ).

Основною перевагою вказаного методу є відсутність елементів затримки. Іноді може виявитися зручним і розкладання  $R_{xx}(\tau)$  в ряд Маклорена. В цьому випадку:

$$R_{xx}(\tau) = \overline{x^2(t)} + \sum_{n=1}^{\infty} x(t) x^{(2n)}(t) \frac{\alpha^{2n}}{(2n)!}, \quad (9.4.39)$$

$$x^{(2n)}(t) = \frac{d^{2n} x(t)}{dt^{2n}}$$

де

Цей метод зручний у тих випадках, коли можуть бути безпосередньо виміряні похідні випадкового процесу. Метод, заснований на використанні двовимірної щільності ймовірності, дозволяє обчислити  $R_{xy}(\tau)$  зі співвідношення:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} xy f(x, y, \tau) dx dy, \quad (9.4.40)$$

де  $f(x, y, \tau)$  - двовимірна щільність ймовірності процесів  $y(t + \tau)$  і  $x(t)$ .

Отже, для визначення оцінки кореляційної функції необхідно мати оцінку двовимірної щільності ймовірності.

Метод дискретних аперіодичних вибірок використовує наступне співвідношення для кореляційної функції:

$$R_{xy}(\tau) = \lim \frac{\eta}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y(t_i + \tau), \quad (9.4.41)$$

де  $t_i$  моменти часу, в яких процес  $x(t)$  перетинає рівень  $\eta$ , тобто  $x(t_i) = \eta$

$\eta$  - константа, яка бере будь-які значення, крім нуля.

Для нормальних випадкових процесів показано, що існує оптимальне значення константи  $\eta$ , рівне  $\sqrt{2} \times \sigma_x$ , при якому помилка в обчисленні функції кореляції за кінцевий час аналізу мінімальна.

#### 9.4.4. Методи визначення спектральної щільності

Спектральна щільність  $S(\omega)$  дозволяє судити про частотні властивості випадкового процесу. Вона характеризує його інтенсивність на різних частотах або, інакше, середню потужність, що припадає на одиницю смуги частот.

Оскільки спектральна і кореляційна функція випадкового стаціонарного процесу пов'язані прямим і зворотним співвідношеннями Вінера-Хінчина

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \\ R(\tau) &= \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \end{aligned} \quad (9.4.42)$$

то при вивченні частотних властивостей процесу досить визначити будь-яку з цих функцій. Однак, в ряді випадків визначення  $S(\omega)$  є кращим.

Алгоритми визначення спектральної щільності можна розділити на чотири основні групи:

- алгоритми, побудовані на принципі вузькосмугової фільтрації;
- алгоритми, що використовують перетворення Фур'є від реалізації випадкового процесу;
- алгоритми, що використовують апроксимацію  $S(\omega)$  ортогональними поліномами,

- алгоритми, що ґрунтуються на перетворенні Фур'є від кореляційної функції.

Розрізняють також методи отримання спектральних характеристик послідовної дії, в яких аналіз відбувається послідовно на кожній частоті, і паралельної дії, які дозволяють аналізувати  $S(\omega)$  паралельно в часі для кількох значень частот. При цьому слід відзначити, що час зміни  $S(\omega)$  для послідовного методу значно більше, ніж для паралельного.

### 9.5. Контроль достовірності попередньої інформації

Призначення алгоритмів контролю достовірності попередньої інформації - підвищити точність і надійність роботи АСУТП. Точність роботи окремих датчиків може бути дещо покращена при одночасному контролі ряду параметрів технологічного процесу за рахунок раціонального використання інформації, що надходить від інших датчиків об'єкта, або за рахунок інформації, що зберігається в пам'яті ЦВМ. При цьому раціональне коригування роботи окремих датчиків дозволяє значно підвищити достовірність інформації, що видається ЦВМ операторам. Розглянемо деякі методи вирішення такого завдання.

Можливість підвищення точності визначення вимірюваної величини з'являється при її одночасному вимірі декількома датчиками, або вимірі і одночасно можливості її обчислення (на основі математичної моделі) по вихідним даним, отриманим від інших датчиків. Поширеними прикладами таких ситуацій є виміри витрат матеріальних потоків або енергетичних потоків на початку і кінці трубопроводу; замір витрати речовини датчиком і одночасне обчислення його з рівняння балансу для вузла, яке споживає або виділяє дана речовина; безпосереднє вимірювання шуканої величини рядом датчиків, що резервують один одного і т.д.

Використання математичної моделі дозволяє або виявити і скоригувати джерело недостовірної інформації (несправний датчик), або встановити порушення математичної моделі, що може служити сигналом про аварійну ситуацію, наприклад, руйнування трубопроводу.

Нехай  $\bar{x} \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  - вектор витрати  $n$  потоків на виробництві, які пов'язані  $m$  ( $m < n$ ) рівняннями матеріального балансу:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = 0 \quad \text{при } j = 1, \dots, m \quad (9.5.43)$$

де  $a_{ij}$  - параметри рівнянь.

Частково або повністю ці потоки вимірюються відповідними витратомірами, які видають значення витрат з похибками  $\{\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_{n-1}\}$ , де  $n_l \leq n$ . При цьому кожен датчик має свою відому середню квадратичну похибку оцінки  $\sigma_x\{\sigma_{x1}, \dots, \sigma_{xm}\}$ . Звичайно, за рахунок цих похибок на практиці рівняння балансу задовольняються неточно. Це дозволяє поставити завдання підвищення достовірності роботи датчиків витрати за рахунок використання додаткової інформації, що міститься в рівняннях балансу.

Коригування величин потоків полягає у визначенні такого вектора  $\bar{x}$ , який задовольняв би рівняння матеріального балансу і мінімізував би квадратичну помилку відхилення від виміряного значення:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \tilde{x}}{\sigma_{xi}} \right)^2 \rightarrow \min \quad (9.5.44)$$

Поставлена задача є задачею математичного програмування і може бути вирішена методом невизначених множників Лагранжа.

Ще одним випадком появи надлишкової інформації є наявність в технологічних процесах декількох конструктивно ідентичних паралельних технологічних ниток, оснащених однаковими вимірювальними приладами і працюючих в однаковому режимі. Параметри стану ниток, заміряні в їх конструктивно ідентичних точках, близькі по значенням.

Тут, як і в наведених вище двох інших випадках (дублювання вимірів особливо важливих технологічних параметрів і перевірка показів датчиків методом непрямого вимірювання, з використанням математичних моделей окремих технологічних вузлів), є надлишкова інформація. Її потрібно використовувати для оцінки надійності джерела контрольованої величини і вибору найбільш вірогідного значення або для присвоєння контрольованої змінної заданого замінюючого значення, якщо всі три аналізованих значення будуть визнані недостовірними.

Це завдання зазвичай вирішується за допомогою наступного алгоритму контролю достовірності інформації:

- По кворумній схемі два з трьох, що дозволяє вибрати найбільш достовірне значення з трьох значень однієї і тієї ж величини, отриманих з різних джерел;
- З трьох близьких за технологічним змістом і чисельному значенню величин;

- Для присвоєння контрольованій величині заданого замінюючого значення, якщо всі три аналізовані величини будуть визнані недостовірними. Суть алгоритму полягає в наступному.

Перевіряється виконання нерівностей:

$$[x_1 - x_2] \leq a_1 \quad (9.5.45)$$

$$[x_1 - x_3] \leq a_2 \quad (9.5.46)$$

$$[x_2 - x_3] \leq a_3 \quad (9.5.47)$$

де  $x_1$  - початкове значення контрольованої величини,

$x_2, x_3$  - надмірне значення контрольованої величини,

$a_1, a_2, a_3$  - константи.

Вихідній величині присвоюється значення відповідно до табл. 9.1.

Табл. 9.2.

| № пп | Виконання нерівностей        | Вихідна величина |
|------|------------------------------|------------------|
| 1.   | (9.5.45), (9.5.46), (9.5.47) | $y = x_1$        |
| 2.   | (9.5.45), (9.5.46)           | $y = x_1$        |
| 3.   | (9.5.45), (9.5.47)           | $y = x_2$        |
| 4.   | (9.5.46), (9.5.47)           | $y = x_3$        |
| 5.   | (9.5.45)                     | $y = x_1$        |
| 6.   | (9.5.45)                     | $y = x_1$        |
| 7.   | (9.5.45)                     | $y = z$          |
| 8.   | —                            | $y = z$          |

У разі 5 і 6 додатково видається повідомлення про ненадійність джерела значення  $x_1$ .

У випадках 7 і 8 додатково видається повідомлення про ненадійність джерел значень  $x_2$  і  $x_3$  відповідно. В якості замінюючого значення  $z$  використовується константа або будь-яка інша змінна, наприклад, одна з величин  $x_1, x_2, x_3$ .

Константи  $a_1, a_2, a_3$  вибираються виходячи з умов конкретного випадку використання алгоритму з урахуванням:

- проектної точності джерел контрольованих і надлишкових значень;

- ймовірності помилкового виявлення недостовірності;
- ймовірності нефіксації недостовірності;
- змішання впливу похибки контрольованого значення на точність подальших розрахунків;
- витрат, необхідних для забезпечення точності контрольованого значення в межах, визначених обраними значеннями констант  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ .

При завищених значеннях констант збільшується допустима похибка контрольованої величини, що негативно позначається на наступних їх розрахунках. При занижених значеннях констант зростає число замін, тому необхідна впевненість в тому, що замінюючі значення досить доброякісні. Блок-схема алгоритму наведена на рис. 9.2.

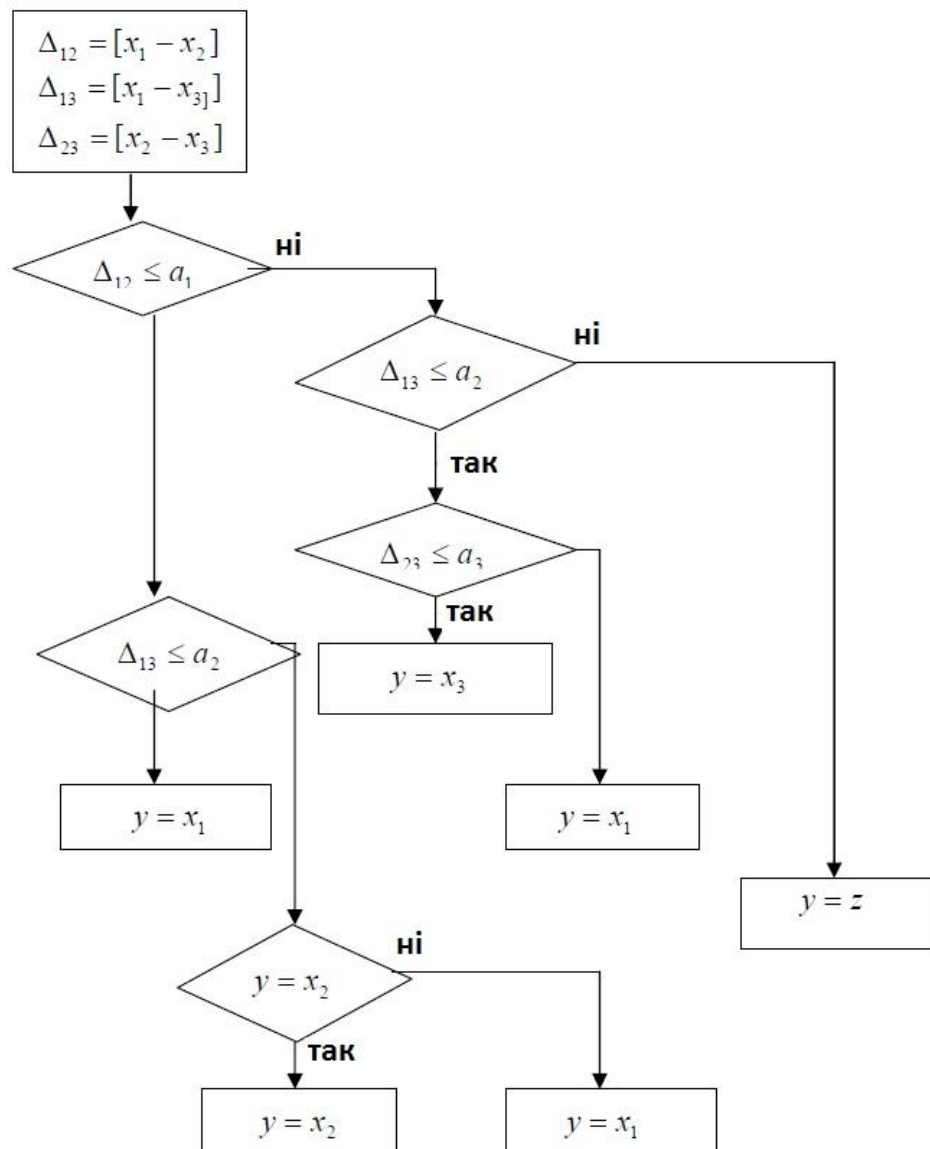


Рис. 9.2 Блок-схема алгоритму контролю за достовірністю інформації

## 9.6. Завдання характеристики

Метою характеристики, тобто математичного опису об'єкта управління є встановлення форм зв'язку між параметрами процесу. Рівняння зв'язку, в яких відображаються фізичні закони, що визначають перебіг процесу в даному об'єкті управління, можуть бути записані в різних формах. Форма характеристики процесу повинна бути адекватною в сенсі вимог, що пред'являються до неї. Такими вимогами можуть бути:

- наочність або простота фізичного сенсу зв'язків між змінними (при теоретичному аналізі);
- простота знаходження параметрів зв'язків (при ідентифікації);
- простота синтезу оптимального управління;
- простота аналізу ТОУ при вирішенні конкретних завдань аналізу якості систем управління, стійкості та ін.

Оскільки всім вимогам одночасно задовільняти важко, то на різних етапах синтезу програмного забезпечення ТП можна використовувати різні форми характеристики, які пов'язані між собою і при необхідності можуть переходити від одних форм до інших, більш зручних на даному етапі для вирішення поставлених завдань, використовуючи алгоритми переходу. Структурна схема зв'язків між різними формами характеристики зображена на (рис.9.3.).

Так як реальні процеси є багатовимірними, нестационарними, з голономними зв'язками, з розподіленими параметрами, то необхідно застосовувати прийоми спрощення математичних моделей, до яких відносяться:

- розчленування багатовимірної системи на ряд систем меншої розмірності;
- зниження розмірності моделі за рахунок залишення в ній найсуттєвіших впливів і обліку інших в параметричній формі;
- прийняття гіпотези стаціонарності або квазістаціонарності моделі;
- лінеаризація нелінійних зв'язків в моделі управління в деякій області зміни змінних;
- нехтування динамічними властивостями об'єкта управління.

Перераховані допущення дозволяють описувати динамічні властивості об'єкта звичайними лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами.

Використання ЦВМ для управління процесом призводить до того, що на вхід об'єкта подається керуючий сигнал, квантований за часом. Вихідний сигнал також розглядається тільки в дискретні моменти часу. В цьому випадку для характеристики процесу можна застосовувати відповідну йому дискретну модель у вигляді лінійних різницевих рівнянь з постійними коефіцієнтами і ін.

На практиці застосовують два способи характеристики об'єктів управління:

- за допомогою характеристик "вхід вихід";
- за допомогою рівнянь для змінних стану.

Опис об'єкта першим способом є суб'єктивним і неповним. Він відображає динамічні властивості тільки агрегованих моделей каналів проходження керуючих і збурюючих впливів. Інший підхід пов'язаний з описом поведінки об'єкта управління в абстрактному просторі станів. Цей шлях виявляється більш плідним, так як опис в термінах простору станів більш об'єктивний і повний, ніж опис характеристиками "вхід вихід", які визначають лише одну частину об'єкта, а саме, повністю керовану і спостережувану частину.

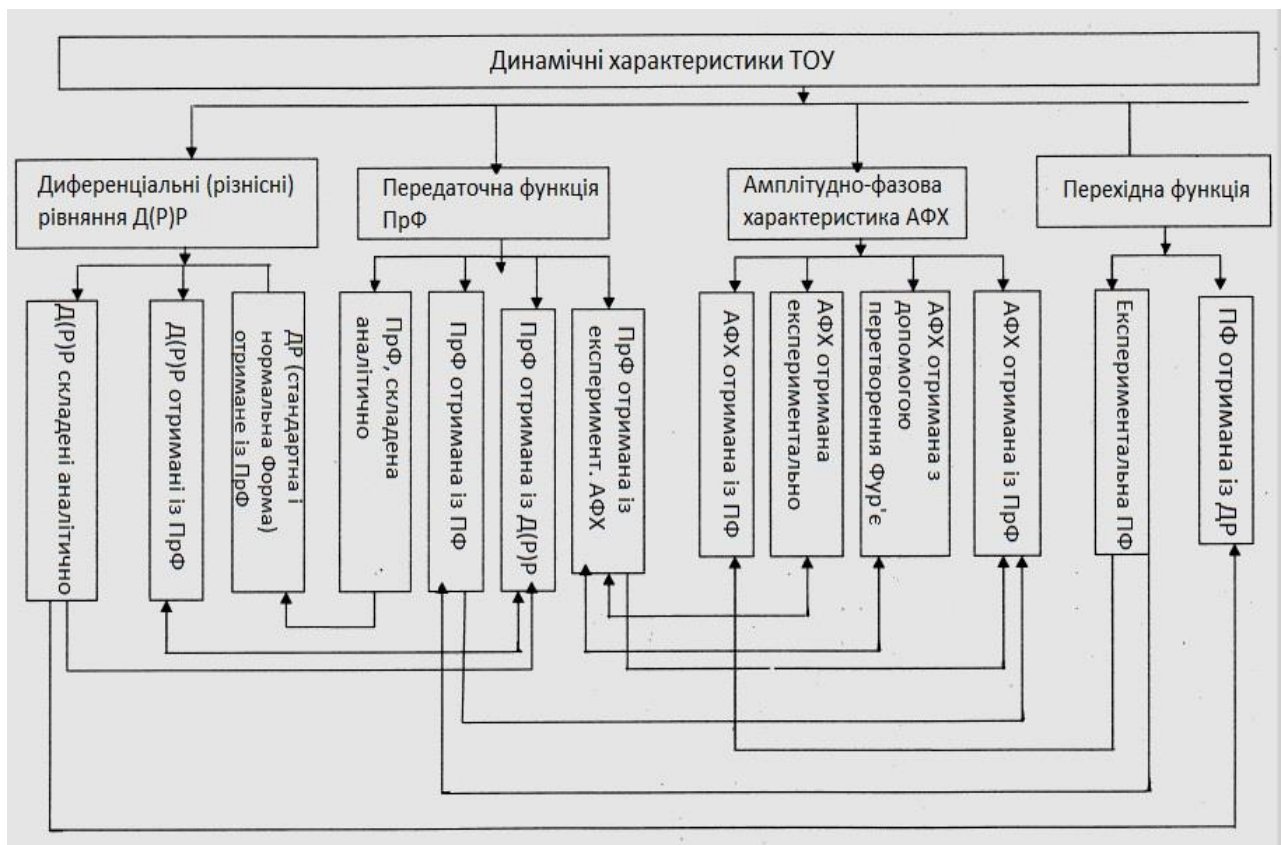


Рис.9.3 Зв'язок між різними формами характеристики

В АСУ ТП більш ефективними, з обчислювальної точки зору, є алгебраїчні методи лінеаризації у вигляді матрично-векторних рівнянь стану, записаних в рекуррентній формі:



$$X_k = F_k (X_{k-i}, V_{k-i}, Z_{k-j});$$

$X_n = X - [K \times \Delta t;]$  - стан об'єкта управління в дискретний момент часу;

$\Delta t$  - інтервал дискретизації;

$V_{k-i}$  - управління об'єктом в момент  $(k-i) \times \Delta t$  (величина  $i \geq 1$  характеризує можливе запізнення по каналу управління);

$Z_{k-j}$ , - збурення в момент  $(k-i) \times \Delta t$  (величина  $j \geq 1$  характеризує можливе запізнення по каналу збурення);

$F_k$  - вектор-функція зв'язків між змінними.

Обчислювані ЕОМ значення керуючих впливів повинні бути знайдені як функції від стану (справжнього і минулого) і збурень (теперішніх і майбутніх):

$$V_k = \varphi_k (X_k, \dots, X_{k-p}, Z_k, \dots, Z_{k+s})$$

$\varphi_k$  - вектор функція,  $p \geq 0, s \geq 0$

## 10 АРХІТЕКТУРА АСУТП

### 10.1 Завдання проектування

### 10.2 Архітектура АСУТП

Ключові слова: архітектура: централізована, розподілена, клієнт-сервер, Сітест, масштабована, багаторівнева, з окремими серверами.

#### 10.1. Завдання проектування

Основне завдання, яке повинні вирішувати інженери АСУ на підприємствах, полягає не тільки в тому, щоб домагатися максимальної продуктивності при мінімальній вартості системи, а й закласти основи розширення системи в майбутньому для задоволення зростаючих вимог підприємства. Оскільки виробничий процес і технології постійно змінюються, система моніторингу та управління повинна адекватно відстежувати ці зміни, тобто легко модифікуватися при зміні завдання і рости в міру розвитку підприємства. Це можливо лише в тому випадку, коли архітектура АСУТП є масштабованою.

#### 10.2. Архітектура АСУТП

У минулому інженери повинні були вибирати між двома взаємовиключними архітектурами - централізованою або розподіленою. На жаль, жодна з них не може задовільняти потреби сучасного підприємства. На початку 80-х років централізована архітектура набула популярності, оскільки

один великий комп'ютер міг здійснювати всі управління виробничим процесом і зберігати дані в єдиній БД (рис. 10.1). Всі оператори в такій системі мали однаковий доступ до даних, оскільки вони зберігалися в одному місці, і тільки один комп'ютер потребував оновлення при зміні вимог виробничого процесу.



Рис.10.1 Централізована архітектура

Однак ця архітектура має ряд серйозних недоліків:

- початкові інвестиції занадто високі для невеликих додатків;
- фіксована ємність системи не допускає послідовного збільшення системи при розширенні підприємства або зміні конфігурації;
- резервування може бути досягнуто тільки дублюванням всієї системи в цілому;
- вимоги до технічної кваліфікації обслуговуючого персоналу дуже високі і часто вимагають дорогого навчання.

При повністю розподіленій архітектурі, популярній наприкінці 80-х років, завдання управління і збору даних виконуються на декількох невеликих комп'ютерах (як правило, ПК). Кожен комп'ютер вирішує власну задачу і працює зі своєю базою даних (БД), як показано на рис. 10.2.

Розподілена система є досить гнучкою при малій величині початкових інвестицій. Вимоги до кваліфікації операторів невисокі, і спеціалізоване навчання потрібно в обмеженому обсязі.



Рис.10.2 Розподілена архітектура

Резервування може застосовуватися вибірково до завдань, критично важливим для підприємства. Така система вирішує проблеми, властиві централізованим архітектурам управління.

Однак розподілені системи також мають свої недоліки:

- обробка даних відбувається на кожному комп'ютері, що призводить до вкрай неефективного використання обчислювальних потужностей;
- відсутня оптимізація запитів до даних виробництва - якщо два оператора запитують одні і ті ж відомості, запит повторюється двічі.

Переваги централізованої архітектури є недоліками розподіленої системи і навпаки.

Усвідомлення того факту, що потрібен принципово інший підхід до побудови АСУТП, привело на початку 90-х років до появи нових розробок. Автором найбільш відомого рішення є фірма CiTechnologies, яка запропонувала в 1992 р. програмний пакет Citect для Windows.

Citect для Windows пропонує інноваційний підхід в реалізації системної архітектури, що використовує найкращі властивості централізованої і розподіленої обробки даних. Архітектура Citect є революційною не лише по відношенню до АСУТП, але поширюється і на інші програми, що працюють з розподіленими ресурсами, об'єднаними в мережі.

Архітектура клієнт-сервер. Основна проблема таких систем полягає в способі розподілу БД. Коли ПК об'єднані в локальну мережу (ЛВМ), БД може бути централізована, а дані надходять до індивідуальним вузлів. Якщо необхідно отримати певну інформацію з БД безпосереднє звернення до БД і пошук у ній здійснюються тільки комп'ютером, відповідальним за управління цією базою. Такий комп'ютер, що володіє необхідним інтерфейсом з обробки запитів, функціонує як сервер інформації. Коли вузол відображення (або інший

клієнт) посилає запит до БД, він не повинен здійснювати пошук в базі самостійно, а лише запитувати ці дані у сервера. Це і становить основу архітектури клієнт-сервер.

Оптимізація клієнт-серверної обробки даних в Citect. Для того щоб розуміти, як Citect використовує архітектуру клієнт-сервер, необхідно мати чітке уявлення про основні завдання Citect: введення/виведення; відображення; тривоги; графіки; звіти.

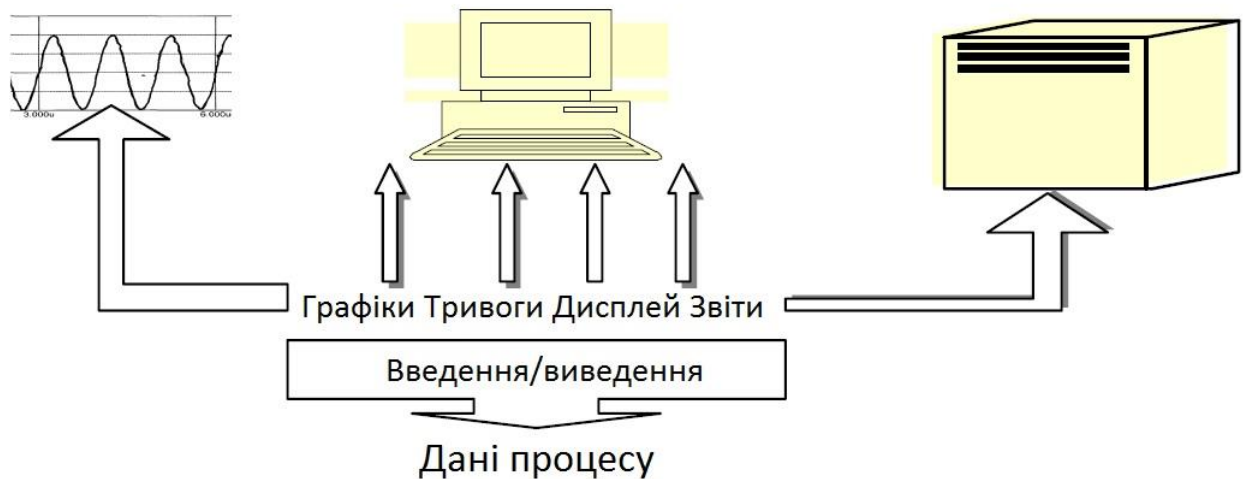


Рис. 10.3 Системна архітектура Citect

Кожне з цих завдань управляє власною БД незалежно від інших. Такий поділ БД підтримується навіть тоді, коли всі завдання виконуються на одному і тому ж комп'ютері (рис. 10.3).

*Введення/виведення* є інтерфейсом між системою управління-контролю і виробничим процесом. Він оптимізує і управляє процесом обміну даними на підприємстві між фізичними пристроями.

*Тривоги* відповідають за генерацію сигналів тривог шляхом аналізу стану дискретних змінних і порівняння значень аналогових змінних із заданим порогом.

*Графіки* управляють усіма даними, які необхідно відображати з плином часу. Зібрані і оброблені вони надсилаються задачі відображення за запитом останньої.

*Звіти.* Завдання з обробки звітів збирає необхідні дані, в тому числі з тривог і графіків, і генерує звіти по заданому критерію. Звіти можуть вироблятися періодично, при настанні деякої події або ініціюватися оператором.

Відображення інформації є сполучною ланкою з оператором, основною складовою ЧМІ. Цей процес керує всіма даними, призначеними для відстеження оператором і виконання дій, ініційованих оператором. У рамках відображення здійснюється доступ до всіх тривог, графіків і звітів.

Кожен з описаних вище процесів функціонує незалежно від інших. Введення / виведення, тривоги, графіки та звіти мають спільну рису - оскільки вони потребують доступу до одних і тих же даних виробничого процесу; такі завдання краще вирішуються в рамках централізованої архітектури. Завдання відображення більше підходить розподіленій архітектурі, оскільки, як правило, в системі присутні більше одного оператора.

Клієнт-серверна архітектура - з розподіленими завданнями як клієнтами і загальними завданнями як серверами – оптимізує розподіл інформації між БД. Citect для Windows може підтримувати високу продуктивність навіть при розподілі завдань по багатьом комп'ютерам.

Масштабна архітектура. Оскільки архітектура клієнт-сервер дозволяє розподіляти підзадачі, конструктори системи не пов'язані звичайними апаратними обмеженнями. Результатом є масштабована архітектура, яка, може бути адаптована до додатків будь-якого розміру - рішення, що скасовує безліч обмежень звичайних систем і забезпечує результати, досі неможливі в АСУ.

Кращим способом виявлення великого потенціалу масштабованої архітектури для будь-якої програми може бути її застосування в серії невеликих прикладів з практики. В невеликих додатках один комп'ютер управляє всіма тривогами, графіками, звітами і завданнями введення / виведення. Система може бути повністю незалежною або інтегрованою в існуючу структуру (рис. 10.4).

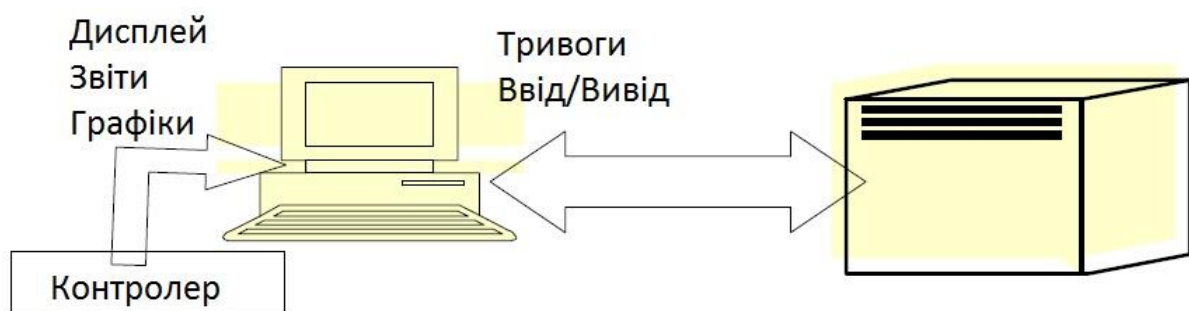


Рис. 10.4 Масштабована архітектура

У міру розширення програми (наприклад, додаються два вузли) додатковий комп'ютер може бути використаний для кожного вузла - і на кожному встановлюється ПЗ Citect для Windows (рис. 10.5).

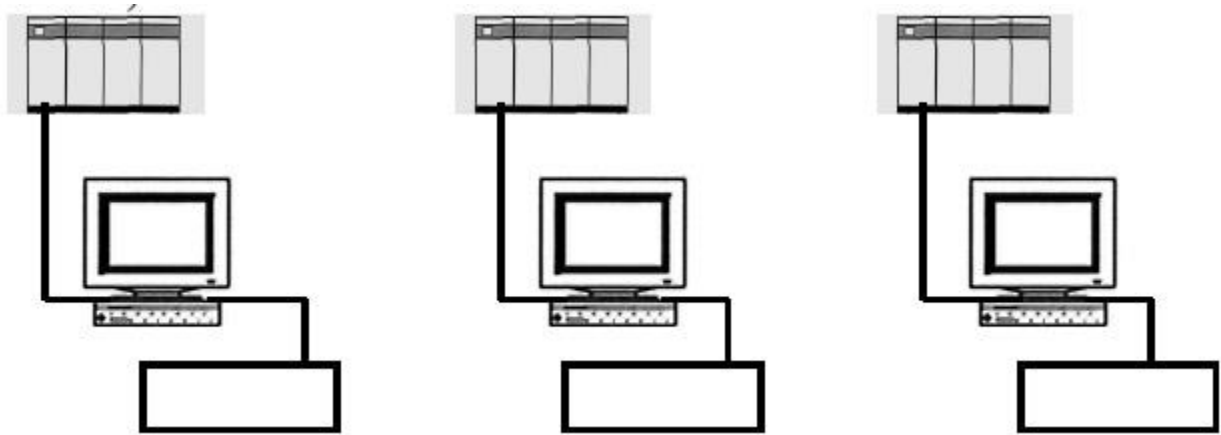


Рис. 10.5 ПЗ Citect встановлено на кожному вузлі

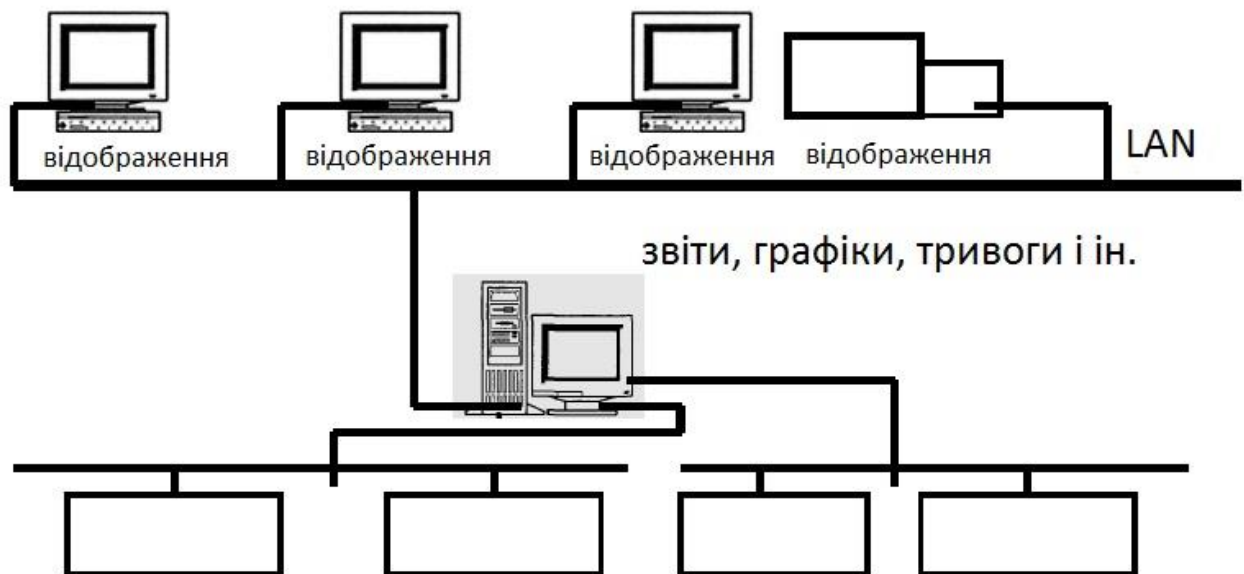


Рис. 10.6 Схема з додаванням локальної мережі

Однак таку схему можна покращити додаванням ЛВМ і виділеного сервера введення/виведення. Така централізація усуває непотрібні обчислення. Завдання відображення розподілені по комп'ютерах, так що кожен оператор може отримувати необхідні дані (рис. 10.6).

Оскільки завдання відображення обробляються локально і лише запити до даних надходять на центральний сервер, така система значно покращує продуктивність і гнучкість.

Іншою перевагою такої системи є необхідність наявності тільки одного принтера, доступного з будь-якого комп'ютера в мережі. Додаткові оператори можуть бути легко підключені до системи. Менеджерам і групі якості може бути надано доступ до даних виробничого процесу (рис. 10.7).

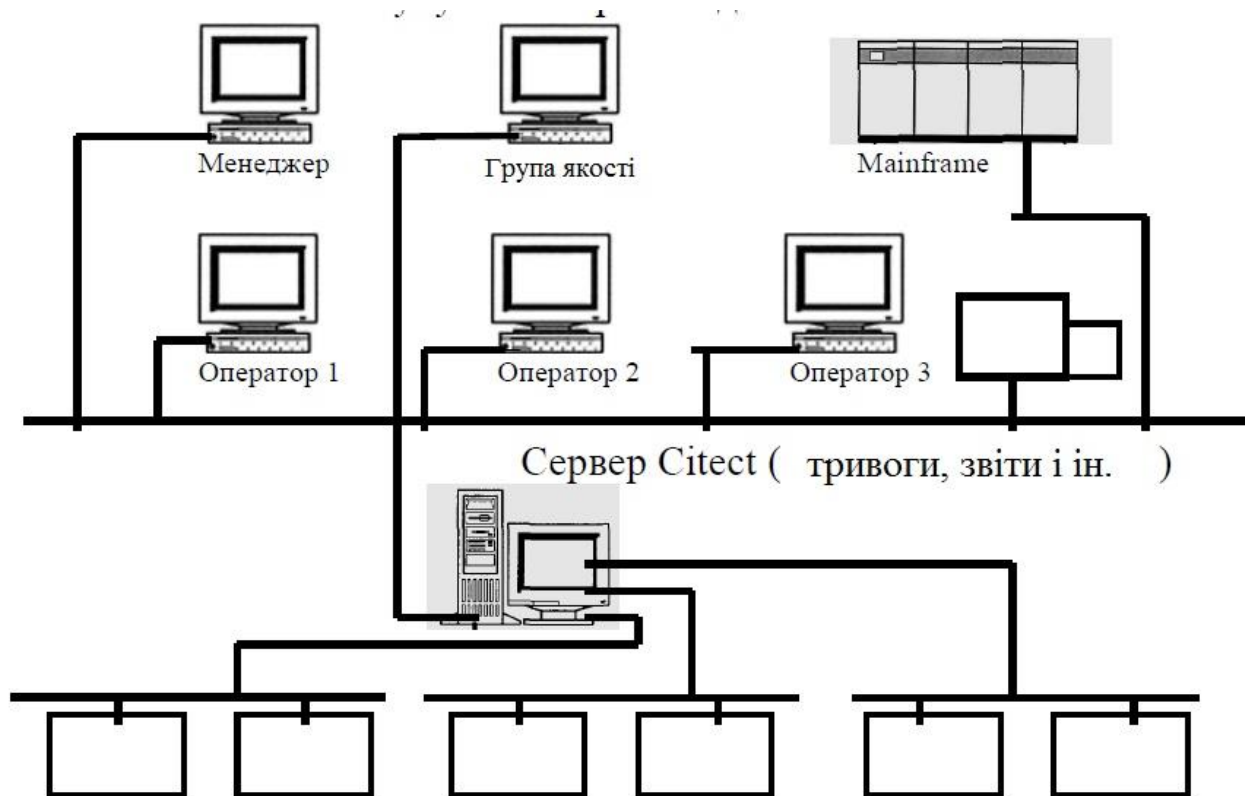


Рис. 10.7 Багаторівнева система по пароллю

Багаторівнева система по пароллю обмежує доступ до даних і захищає обладнання підприємства від несанкціонованих звернень. Наприклад, кожному оператору може бути надано доступ лише до визначених об'єктів на підприємстві; група якості може мати доступ, обмежений тільки читанням даних на всьому підприємстві, в той час як начальник зміни володіє необмеженим доступом. Зв'язок з великим комп'ютером може підтримувати завантаження регламентів і управління випуском продукції, а, в свою чергу, звіти і журнали тривог можуть надходити назад у відділи планування і управління.

Те, що починалося як невеликий додаток, перетворилося в середню за розмірами систему, не потребуючи зміни ні обладнання, ні ПЗ. Інвестиції були збережені на кожній стадії розвитку. Для додатків великого розміру, як правило, потрібен окремий сервер для задач, звітів, тривог і графіків. Як доповнення може бути використаний файловий сервер для зберігання конфігурації БД і загального ПЗ (рис.10.8).

Не всі АСУ (як показано на рис.10.8) настільки великі, але Citect може ефективно використовуватися в системі будь-якого розміру, функціонально розширюючись у міру зростання підприємства. Можливість простого додавання нової апаратури і подальшого розподілу обробки в Citect для Windows є поворотною точкою в історії розвитку АСУТП.



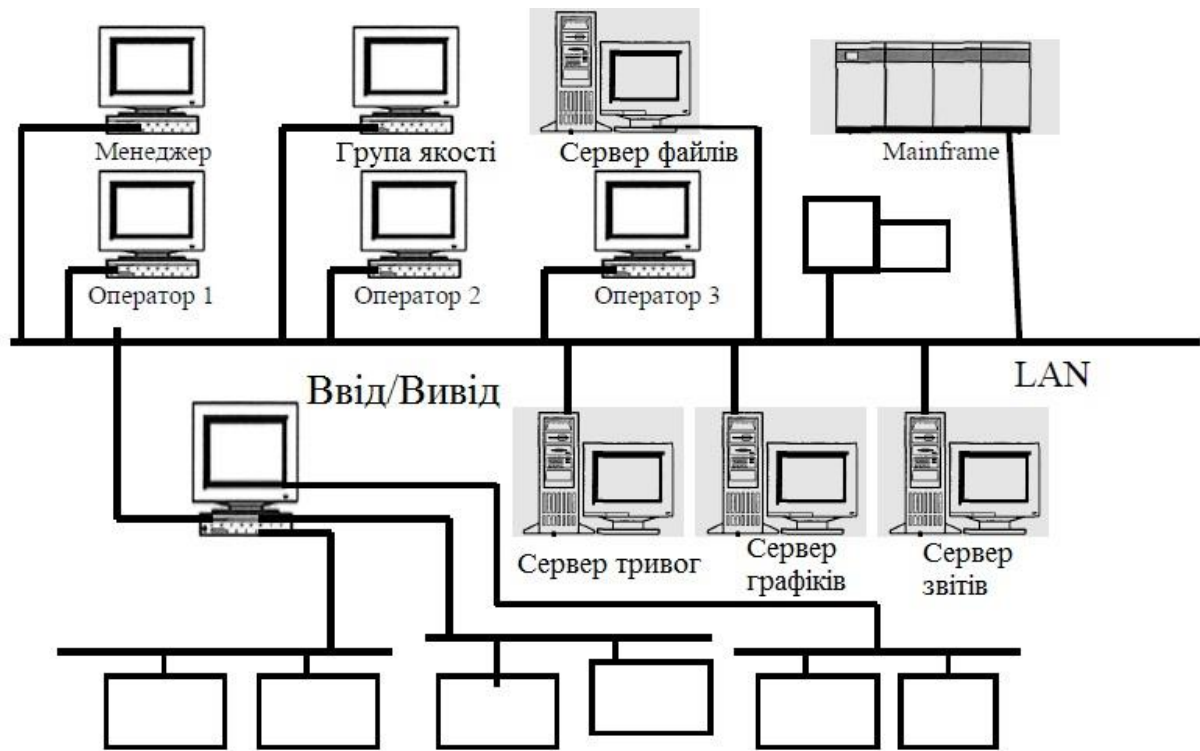


Рис 10.8 Система з окремими серверами

## 11. ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ КОНТРОЛЕРИ

### 11.1 Місце програмованого контролера в АСУ підприємства

### 11.2 Термінологія технічних засобів

### 11.3 Структура ПЛК

### 11.4 Операційна система ПЛК

### 11.5 Класифікація ПЛК

Ключові слова: структура управління підприємством, термінологія технічних засобів, організація взаємозв'язку, структура ПЛК, класифікація ПЛК.

#### 11.1. Місце програмованого контролера в АСУ підприємства

Фахівці з комплексної автоматизації підприємств дотримуються 5-рівневої структури при побудові індустріальних систем (рис. 11.1):

- 1 - Системи планування ресурсів підприємства ERP (Enterprise Resource Planning);
- 2 – Системи виконання виробництва MES (Manufacturing Execution Systems);
- 3 - Станції оперативного технічного персоналу MMI (Men-Maching Interface);
- 4 - Засоби локального управління (Control);



## 5 - Датчики і виконавчі пристрої I / O (Input / Output).

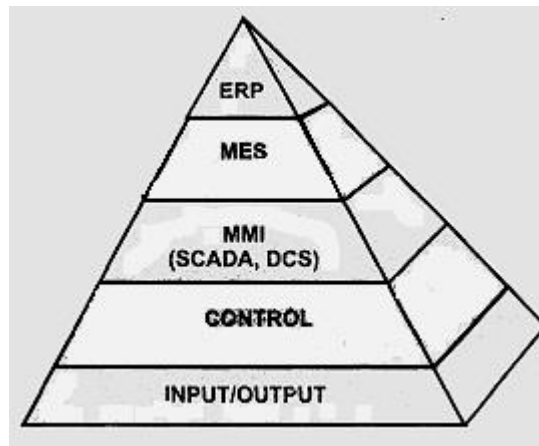


Рис. 11.1 Піраміда комплексної автоматизації підприємства

На рівні ERP здійснюються розрахунок і аналіз фінансово-економічних показників, вирішуються адміністративні та логістичні завдання; на рівні MES - завдання управління якістю продукції, планування і контролю послідовності операцій технологічного процесу, управління виробничими і людськими ресурсами в рамках технологічного процесу, технічного обслуговування виробничого обладнання.

Згідно з раніше прийнятою термінологією ці два рівня відносяться до завдань АСУП (автоматизовані системи управління підприємством). Технічні засоби, за допомогою яких вирішуються завдання рівнів ERP і MES - персональні комп'ютери і робочі станції.

На наступних трьох рівнях вирішуються завдання, які відносяться до класу АСУТП (автоматизовані системи управління технологічними процесами).

Рівень I/O представлений датчиками і виконавчими механізмами.

Рівень Control займають пристрої під загальною назвою програмовані контролери (ПК). Умовно завдання, які вирішуються контролерами на цьому рівні можна розділити на дві групи:

- локальне управління об'єктом (наприклад, підтримання температури на заданому рівні);
- збір даних (наприклад, опитування декількох датчиків температури і передача повідомлення про параметри в цифровому вигляді системі верхнього рівня).

На практиці часто зустрічається поєднання цих двох типів завдань. Протягом останніх 30 років технічними засобами рівня Control служили програмовані логічні контролери (ПЛК). Однак в даний час на рівні Control

розгорнута жорстка конкуренція між ПЛК з універсальними програмованими контролерами, оснащеними пристроями сполучення з об'єктами (ПСО). На рівні MMI здійснюється оперативне управління технологічним процесом, приймаються тактичні рішення, спрямовані на підтримку стабільності процесу, вирішуються завдання двосторонньої зв'язку оператор – технологічний процес. За способом організації взаємозв'язків між рівнями MES, MMI і Control системи MMI поділяють на дві групи:

- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition);
- DCS (Distributed Control System).

Провідні виробники програмованих логічних контролерів (фірми Siemens, Allen Bradley, Mitsubishi, AEG Modicon) орієнтуються на використання своєї продукції в системах типу SCADA, структурна схема якої наведена на рис 11.2. Системи SCADA зазвичай мають серверну структуру. Виділений вузол здійснює збір інформації від контролерів, її обробку та передачу контролерам, що управляють. Цей же вузол може виконувати функції операторської станції або бути її сервером. Технічними засобами, на основі яких реалізують операторські станції, служать промислові комп'ютери.

Однак в ряді випадків економічно доцільно об'єднати функції управління і MMI інтерфейсу на основі єдиних апаратних засобів, і тоді неминуче доведеться вибирати між промисловим комп'ютером і програмованим логічним контролером.

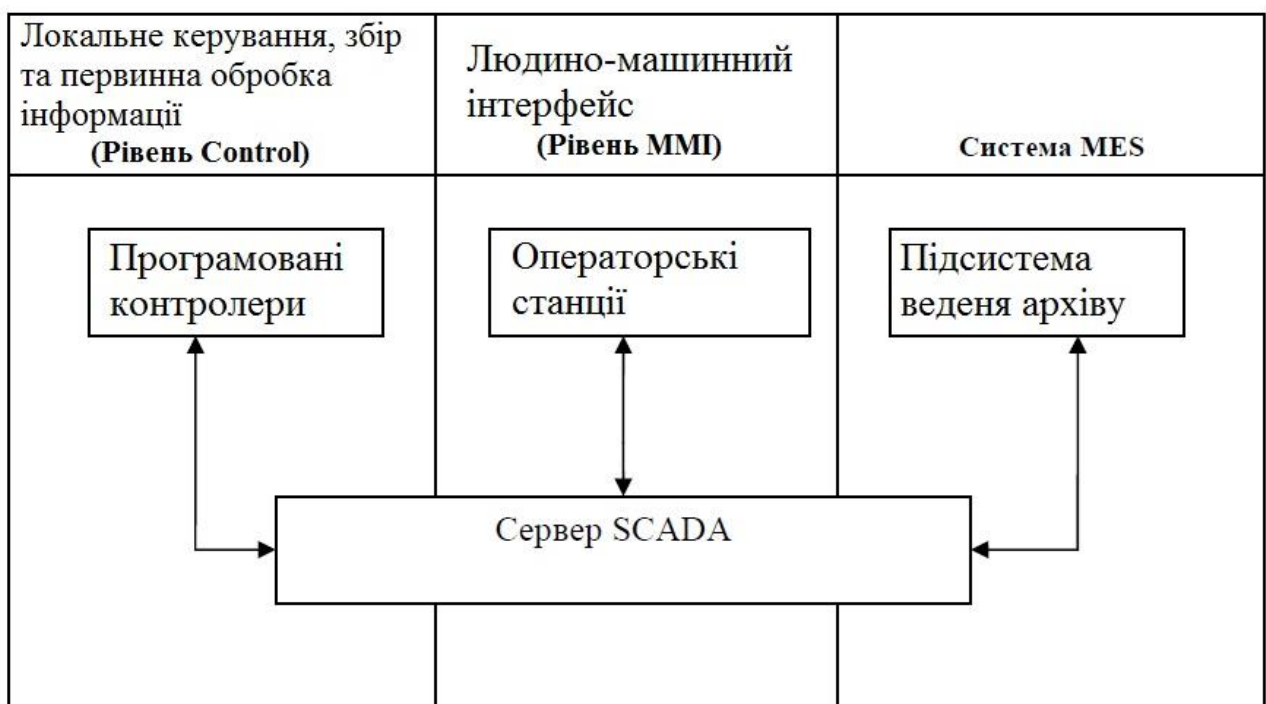


Рис. 11.2 Узагальнена структура системи типу SCADA

Таким чином, сучасні ПЛК можуть використовуватися в якості технічного засобу відразу на двох рівнях «піраміди», і на кожному з них вони відчують все більш серйозну конкуренцію з боку засобів, програмно сумісних з персональними комп'ютерами загального призначення.

Перш, ніж звернутися до класифікації програмованих контролерів, поглянемо ще раз на піраміду комплексної автоматизації (див. рис.11.1) і відзначимо два важливі аспекти:

1. Рух від основи піраміди до її вершини супроводжується значним ускладненням апаратних засобів і програмного забезпечення, потрібних для реалізації завдань кожного рівня;
2. Число одиниць технічних засобів, що використовуються на верхньому і нижньому рівнях, несумісні. Наймасовішими виробами засобів автоматизації є датчики, виконавчі пристрої і програмовані контролери.

### **11.2. Термінологія технічних засобів**

Функціональне визначення програмованого контролера об'єднує (як мінімум) чотири класи технічних засобів автоматизації:

- промисловий комп'ютер;
- програмований (іноді промисловий) контролер;
- програмований логічний контролер;
- контролер збору даних ПСО в розподілених системах.

Найчастіше додаткову плутанину в термінологію вносить скорочення ПК, яке одночасно позначає і промисловий комп'ютер, і програмований контролер, а іноді (по неакуратності використання термінології) і програмований логічний контролер. Однак, використання однієї аббревіатури ПК для всіх цих засобів не випадково, оскільки вони мають однакові особливості:

- засоби виконані на основі мікропроцесорної елементної бази і є мікропроцесорними системами;
- засоби, що вже мають в своєму складі (або можуть бути легко дооснащені) пристроями сполучення з об'єктом (ПСО), які виконують функції гальванічної розв'язки джерел дискретного, аналогового сигналів, кінцевого силового обладнання та пристроїв введення/виводу контролера, приведення границь шкали безперервного сигналу до стандартного діапазону вимірювального каналу, попередньої низькочастотної фільтрації;

- засоби, що мають конструктивне спеціальне виконання - розміщення плат на спеціальних шасі, покриття плат спеціальними сумішами, застосування пілота вологонепроникних корпусів, розрахованих на надмірний внутрішній тиск і т. д. Всі ці заходи забезпечують працездатність з високою надійністю в умовах підвищеного рівня електромагнітних завад, впливу агресивного хімічного середовища, вібраціях, віддаленого розташування об'єкта від засобу управління.

Границі між засобами в значній мірі розмиті. Однак описати функціональні відмінні риси кожного типу засобів можливо.

**11.2.1. Промисловий комп'ютер.** В даний час – це WINDOWS сумісний комп'ютер в промисловому виконанні. У ньому присутній повний набір засобів MMI, але дисплеї, клавіатури, вінчестери, теж мають спеціальне виконання. Часто зустрічається щитовий варіант виконання.

**11.2.2. Універсальний програмований контролер** – це мікропроцесорна система, потужність якої практично не відрізняється від потужності промислового комп'ютера. Однак якщо для останнього однією з основних була функція MMI, то контролер орієнтований в основному на роботу в якості локального вузла збору та передачі даних в розподілені мережі в реальному масштабі часу або на локальне управління об'єктом. Промислові контролери часто оснащені аналоговими і дискретними адаптерами введення / виведення подібно до ПЛК. Останнім часом під промисловим контролером все частіше розуміють WINDOWS сумісні платформи типу microPC і PC 104, хоча це і не обов'язково.

З функціональної точки зору вироби цих двох класів об'єднує важлива особливість - відкрите програмне забезпечення. У ці вироби може бути завантажено будь програмне забезпечення, яке працює під управлінням операційного середовища WINDOWS або спеціальних операційних систем (ОС) реального часу, програма управління може бути написана на мовах високого рівня загального застосування. Ця особливість є надзвичайно привабливою.

**11.2.3 Програмований логічний контролер** – це мікропроцесорна система спеціального призначення з проблемно орієнтованим програмним забезпеченням для реалізації алгоритмів логічного управління і / або замкнутих систем автоматичного управління в сфері промислової автоматики. ПЛК відрізняються від спеціалізованих вбудованих мікропроцесорних контролерів універсальністю структури та інваріантністю по відношенню до об'єкта управління в межах вказаного класу задач.

**11.2.4 Контролер збору даних** являє собою мікропроцесорну систему, призначену тільки для збору інформації. Ці контролери виконують функції перетворення сигналів групи первинних датчиків в цифровий код, і передачі отриманих даних пристрою верхнього рівня, використовуючи будь-який із протоколів локальних промислових мереж. Програмне забезпечення двох останніх типів систем не є відкритим.

### **11.3. Структура ПЛК**

Перші ПЛК з'явилися в 1967 р. і були призначені для локальної автоматизації найбільш часто вживаних в промисловості технологічних завдань, які описувалися переважно логічними рівняннями. ПЛК з успіхом замінили блоки релейної автоматики і пристрої жорсткої логіки на інтегральних мікросхемах малої і середньої ступені інтеграції. Звідси і назва - програмований логічний контролер, або Programmable Logic Controller (PLC).

Апаратні засоби, програмне забезпечення та конструктивне виконання ПЛК повинні задовільняти наступним вимогам:

- універсальна структура виробу, яка дозволяє звести кожен нову розробку до вибору серед існуючих апаратних засобів і розробці нової керуючої програми;
- висока надійність;
- зручність обслуговування і експлуатації;
- просте програмування і перепрограмування пристрою (можливе не фахівцем в області комп'ютерної техніки);
- стандартизація входів і виходів для безпосереднього підключення датчиків і виконавчих пристроїв;
- менші габарити і енергоспоживання, ніж у аналогічних блоків релейної автоматики і жорсткої логіки;
- конкурентоспроможність за вартістю зі схемами на основі релейної техніки, жорсткої напівпровідникової логіки, можливість обміну інформацією з системою управління верхнього рівня.

Тридцятирічний досвід технічного розвитку та експлуатації привів до виділення ПЛК в окремий клас мікропроцесорних систем.

ПЛК є довершеною формою мікропроцесорних засобів, які характеризуються оригінальною архітектурою і спеціальним програмним забезпеченням. Реалізовані рішення в області апаратних і програмних засобів мають на меті забезпечення максимально можливого рівня надійності при

роботі в промислових умовах експлуатації. Весь комплекс цих рішень можна поділити на такі функціональні групи:

- спеціальна архітектура центрального процесора ПЛК;
- використання різних способів резервування;
- використання програмних методів захисту інформації;
- спеціальна схемотехніка ПСО;
- організація спеціальних швидкодіючих магістралей зв'язку з віддаленими ПСО;
- спеціальне конструктивне виконання.

Структура ПЛК, підключеного до об'єкта управління, показана на рис. 11.3. Центральний процесор (CPU) включає власне мікропроцесор, пам'ять програм і пам'ять даних, формувачі магістралі сполучення з локальними модулями введення / виведення, адаптери зв'язку з віддаленими модулями ПСО, адаптери зв'язку з периферійним сервісним обладнанням (пульт оператора, дисплеї, принтер). Локальними модулями ПСО називають модулі, конструктивно розташовані в одному крейті з платами ЦП і пам'яті ПЛК.

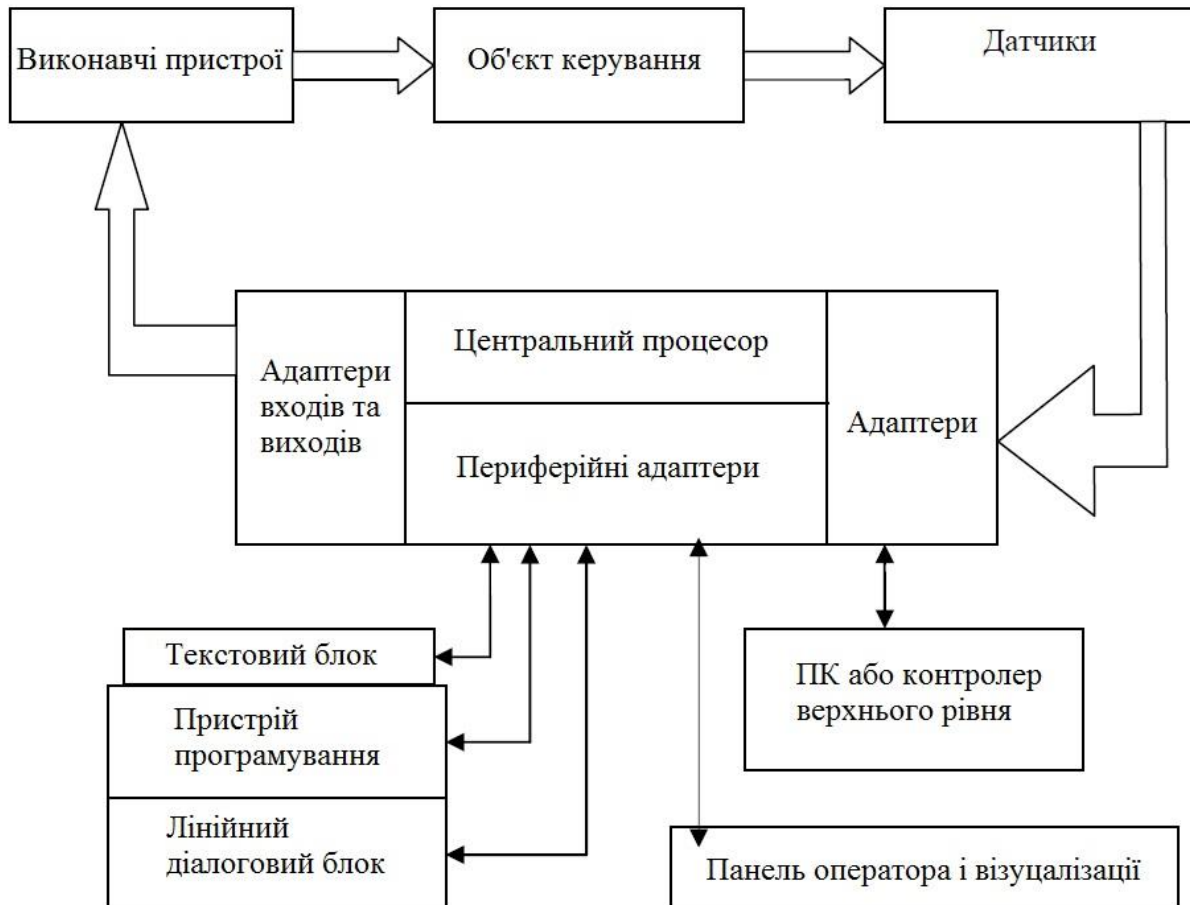


Рис 11.3 Програмований логічний контролер в системі управління

Центральний процесор (ЦП) ПЛК має такі особливості:

- пам'ять програм і пам'ять даних ПЛК розділені не тільки логічно, а й фізично. Спеціалізація центральної пам'яті ЦП є відмінною рисою ПЛК, причому область пам'яті вихідних змінних обов'язково виконана незалежно з метою підтримки стану об'єкта при відключенні живлення;
- в ЦП ПЛК вбудовуються апаратні пристрої контролю адресного простору, які можуть бути різними, в залежності від структури блоків пам'яті ПЛК;
- при побудові ЦП використовуються методи структурного резервування складових елементів (наприклад, ЦП може включати два обробних блоки, які об'єднані між собою блоками прийняття рішень; при цьому сигнали вихідних впливів формуються тільки в разі, коли вони однакові для обох блоків; структура, що відмовила виявляється за допомогою вбудованих тестових програм);
- кілька сторожових таймерів, що входять до складу ЦП ПЛК, контролюють чітко визначений час виконання одного циклу керуючої програми і окремих її частин;
- ЦП середніх і потужних ПЛК часто виконані багатопроцесорними, причому розподіл завдань між окремими процесорами обумовлено типовими алгоритмами функціонування ПЛК, а способи передачі інформації між процесорами підкоряються жорсткій вимозі реалізації програми управління об'єктом за строго визначений часовий інтервал.

Інтерфейс між датчиками, виконавчими пристроями, і ЦП ПЛК забезпечується спеціальними електронними модулями введення / виведення (адаптерами). У зв'язку з тим, що ПЛК орієнтовані на роботу в промислових умовах, особлива увага приділяється схемотехніці і конструкції завадостійких дискретних входів/виходів.

Крім власне прийому інформації, адаптери дискретних входів виконують попередню обробку сигналу, виділення корисного сигналу з багатого на перешкоди, реалізують розв'язку сигналів з різними рівнями потужності. Рівні постійних і змінних напруг вхідного дискретного сигналу стандартизовані: = 24 В, -130 В, -240 В. Адаптери дискретних виходів повинні, крім гальванічної розв'язки, забезпечувати певну потужність сигналу, необхідну для управління виконавчим пристроєм. Стандартні параметри виходів наступні: постійна напруга 24 В, змінна напруга 130 В і 240 В при силі струму до 10 А. Вихідним пристроєм можуть бути біполярні та польові транзистори, реле, тріод, тиристор. Гальванічна розв'язка забезпечується розділяючим трансформатором на змінному струмі або оптронами на постійному струмі.

ПЛК безперервно розвивалися в бік ускладнення. Поступово, не змінюючи назви, вони стали виконувати функції регулювання. У складі ПЛК з'явилися адаптери введення аналогових сигналів, що містять АЦП, і адаптери виведення аналогових сигналів на основі ЦАП. Система команд ПЛК поповнилася командами обробки двійкових кодів, ПЛК стали виконувати операції порівняння і алгебраїчні обчислення. Чим ж відрізняється виконання цих дій в ПЛК і в універсальному мікропроцесорному контролері або промисловому комп'ютері?

#### 11.4. Операційна система ПЛК

Пам'ять програм ПЛК складається з двох сегментів. Перший сегмент - незмінна частина, яка містить ОС ПЛК. По суті, це - інтерпретатор інструкцій програми користувача, які розміщуються в другому сегменті пам'яті - сегменті програми управління. Другий сегмент - це змінна частина програми. Вона заноситься на етапі адаптації серійного виробу для управління конкретним об'єктом.

ПЛК відрізняється циклічним характером роботи. кожен цикл виконання програми управління включає чотири етапи (рис 11.5).

На першому етапі відбувається тестування апаратури ЦП. Якщо тест дає задовільні результати, проводиться запуск циклу. На другому етапі здійснюється опитування всіх вхідних змінних і запам'ятовування їх стану в спеціальній області оперативної пам'яті даних, званої РІІ (Process Input Image - образ стану вхідних змінних). На третьому етапі ЦП виробляє обчислення логічних виразів, що складають програму користувача, використовуючи в якості аргументів стан вхідних образів і внутрішні змінні.

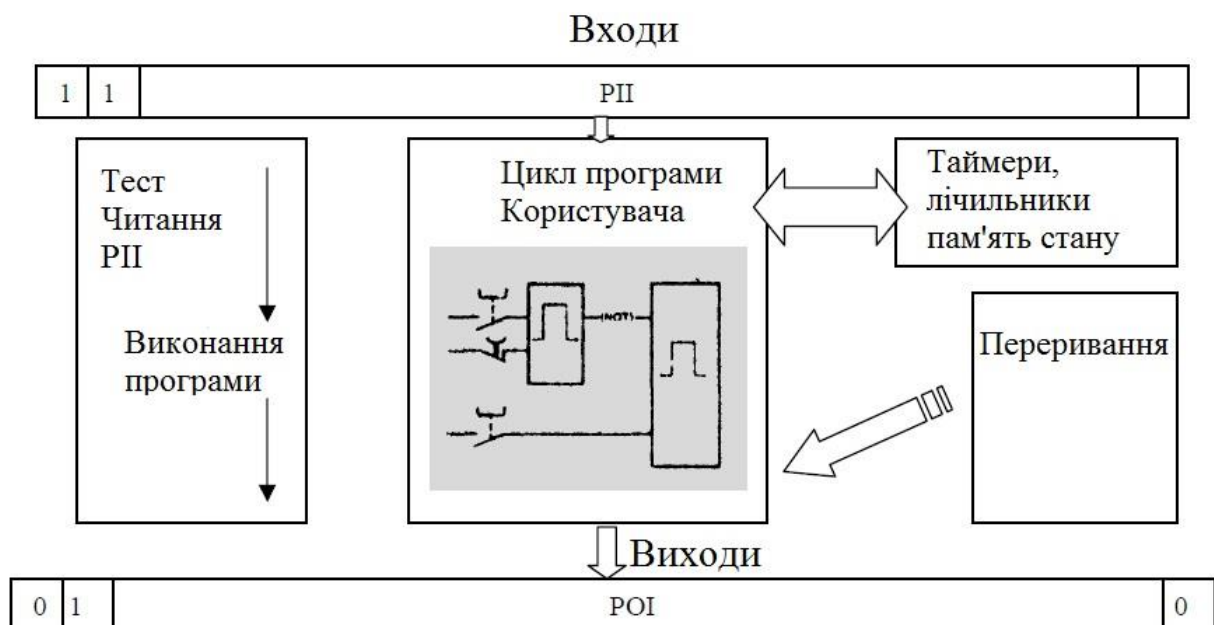


Рис 11.5 Діаграма роботи ПЛК SIMATIC S7-200 / 300/400



Останні використовуються для позначення режимів роботи системи, а також відображають стан програмно-модельованих таймерів і лічильників. Результатом виконання програми є значення вихідних змінних і нові значення внутрішніх змінних. ЦП записує вихідні змінні в іншу спеціальну область пам'яті даних, звану POI (Process Output Image - образ стану вихідних змінних).

Одночасно ЦП управляє лічильниками, таймерами і позначає нові режими роботи системи установкою або скиданням бітів станів в пам'яті. На четвертому етапі слово вихідних впливів видається (всі розряди одночасно) з POI в порти виведення і надходить на входи адаптерів вихідних сигналів. Далі цикл роботи ПЛК відтворюється знову.

Така організація роботи ПЛК (по суті це – найпростіша операційна система) має такі переваги:

1. Час реакції програми управління на зміну вхідних сигналів строго визначено. У класифікації ОС обчислювальних засобів таку систему називають ОС реального часу з жорстким режимом роботи. Саме такі вимоги пред'являються до обчислювальних засобів для автоматизації технологічних процесів, незалежно від апаратної платформи, на основі якої вони реалізовані.
2. Неможливість внесення змін в інтерпретатор інструкцій гарантує виключення помилок програмування апаратних засобів на нижньому рівні. В цьому випадку необхідність вивчення структури і особливостей виконання апаратних засобів повністю відпадає. Не випадково при описі ПЛК ніколи не конкретизується, на якій елементній базі (тип мікропроцесора) виконаний ПЛК, так як це несуттєво.
3. Інтерпретатор інструкцій містить апаратно орієнтовані алгоритми програмного захисту від збоїв апаратури. Використовуються методи надлишкового кодування, багаторазового опитування з мажоритарною логікою визначення значення вхідної або вихідної змінної, вибірки аналогових сигналів з читанням прямого і додаткового кодів, записи в вихідні пристрої з ефектом «відлуння» і т.д. Ці методи, залишаючись практично непомітними для користувача, значно підвищують надійність системи.
4. Одночасна фіксація всіх вхідних дискретних змінних на апаратному рівні з подальшим аналізом копії їх стану в ОЗУ і одночасна видача вихідних значень на адаптери виходів виключає ефект «нестійкості» програми управління через зміни вхідних сигналів в процесі виконання програми.

Розглянута модель функціонування ПЛК пояснює, чому швидкодію ПЛК прийнято оцінювати еквівалентним часом «опитування» 1024 (ІК) дискретних входів. Зазвичай вказується час виконання одного циклу програми середньої

складності для ІК дискретних входів, включаючи етапи читання РП і завантаження даних з РОІ в буфери. У деяких випадках може бути вказано еквівалентний час опитування одного входу. Слід чітко уявляти, що останнє залежить від швидкодії ЦП, але воно завжди перевищує час виконання однієї бітової інструкції мікроконтролером ЦП, так як реалізація повного циклу навіть для одного дискретного входу вимагає виконання строго визначеної послідовності. У грамотно складеному проспекті ПЛК зазвичай вказано дві величини, що характеризують швидкість: час виконання бітової інструкції ЦП і час опитування ІК дискретних входів. Перша величина характеризує швидкість ЦП, друга - швидкість ПЛК як закінченого пристрою, включаючи особливості операційної системи. Слід зазначити, що розглянутий історично сформований спосіб оцінки швидкодії в даний час використовується переважно для малих ПЛК. Для середніх і потужних ПЛК програми управління, яких включають велике число обчислювальних операцій, оцінювання, засновані на моделі логічного управління, перестали бути актуальними. Для цих ПЛК вказується час виконання операцій певного типу (табл. 11.1).

Табл.11.1. Швидкість деяких ПЛК

| Тип ПЛК             | Оцінка швидкодії, мс   | Примітка                     |
|---------------------|--|------------------------------|
| SIMATIC S7-200      | Час виконання 1К бінарних команд -0,8  | ПЛК<br>малого<br>формату     |
| Modicon TSX Micro   | Час виконання 1К бінарних команд -0,15<br>Час опитування 1К дискретних входів -0,7   |                              |
| SIMATIC S7-300      | Час виконання 1К бінарних команд -0,3<br>Час виконання 1К змішаних команд -0,8   | ПЛК<br>середнього<br>формату |
| DL-305 Direct Logic | Час виконання 1К бінарних команд -0,87<br>Час опитування 1К дискретних входів -4...5   |                              |
| SIMATIC S7-400      | Час виконання 1К бінарних команд -0,08<br>Час виконання 1К операцій додавання -0,08<br>Час виконання 1К операцій додавання в форматі з плаваючою комою -0,48 | Потужний<br>ПЛК              |

## 11.5. Класифікація ПЛК

ПЛК прийнято поділяти на три групи. Раніше ці групи називали гаммами. Зараз в літературі СНГ використовують термін «формат», а в англійській ці три групи характеризують як «MicroPLC», «MiniPLC» і «PowerPLC». У табл. 11.2 дані кількісні та якісні критерії для ПЛК різного формату, прийняті 20 років тому і які існують в теперішній час.

Табл 11.2. Функції ПЛК різного формату

| Критерії визначення гами ПЛК в 1979р. |                                 |                                       | Критерії визначення формату ПЛК в 1998 р |                                 |   |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|---|
| ПЛК                                   | Число дискретних входів/виходів | Виконувані функції                    | ПЛК                                      | Число дискретних входів/виходів | Виконувані функції  |
| нижньої гами                          | $20 < N < 100$                  | Обробка цифрових даних не виконується | малого формату Micro PLC                 | $5 \dots 10 < N < 100$          | <b>Типові:</b> логічні, тимчасові, рахункові, арифметичні в форматі з фіксованою комою.<br><b>Розширені:</b> арифметичні в форматі з плаваючою комою, ПД-регулювання                                      |
| середньої гами                        | $100 < N < 500$                 | Виконується спрощена цифрова обробка  | середнього формату Mini PLC              | $100 < N < 500$                 | Логічні, тимчасові, рахункові, досконала цифрова обробка, ПД-регулювання, регулювання за законами нечіткої логіки (Fuzzy logic). Мережеві можливості  |
| верхньої гами                         | $100 < N < 4096$                | Виконується досконала цифрова обробка | потужні Power PLC                        | $100 < N < 128K$                | Логічні, тимчасові, рахункові, досконала цифрова обробка, ПД-регулювання, регулювання за законами нечіткої логіки (Fuzzy logic). Робота з таблицями, засоби MMI інтерфейсу, розширені мережеві можливості |

Дані табл. 11.2 свідчать про те, що поріг рентабельності ПЛК змістився. У 1979 р ПЛК нижньої гами вважалися рентабельними, якщо вони замінювали пристрій автоматики із загальним числом входів / виходів, рівним 20, в даний час можна зустріти ПЛК з п'ятьма-десятьма входами-виходами (наприклад, контролери LOGO і TeleSAFE). Сталося це не тому, що мікропроцесорна елементна база стала відносно дешевою. Підвищився рівень вимог до простих пристроїв автоматизації, які повинні володіти більш розвиненим інтерфейсом візуалізації, а також забезпечувати можливість роботи в загальній інформаційно-керуючій мережі підприємства. Дві останні функції важко реалізувати будь-якими іншими засобами, крім мікропроцесорних. Одночасно підвищилася функціональна складність всіх ПЛК. Раніше ПЛК нижньої гами виконували тільки логічні, рахункові і часові функції, зараз приблизно половина ПЛК малого формату реалізує алгоритми регулювання.

ПЛК верхньої гами істотно розширили функціональну гнучкість. Так, число дискретних входів / виходів, що обслуговуються SIMATIC S7-400, може доходити до 128K, число аналогових входів - до 8 K. Потужні ПЛК реалізують завдання логічного управління, регулювання, в тому числі за законами нечіткої

логіки, виконують функції роботи з таблицями для створення баз даних, оснащені програмною підтримкою засобів візуалізації систем SCADA.

Як уже зазначалося, реалізація станції оператора з використанням виділеного промислового комп'ютера не завжди виправдана, тому в ПЛК середнього формату і особливо потужних ПЛК особлива увага приділяється можливості підключення і програмної підтримки пультів оператора і пристроїв візуалізації технологічного процесу. Практично всі фірми виробники ПЛК мають в номенклатурі продукції ряд текстових і графічних панелей операторів, а також програмні продукти для їх параметрування. Діапазон можливостей панелей оператора коротко розглянемо на прикладі продукції фірми Siemens. Текстові панелі OP3 / OP7 / OP17 призначені для простих застосувань, так, OP3 рекомендують як переносний пульт. Дисплей панелей рідкокристалічний з підсвічуванням, число рядків - від 2 до 4, число символів в рядку – від 20 до 40. Максимальна кількість клавіш панелі - 46 для OP17. Графічні панелі OP27 / OP35 / DP37 мають роздільну здатність до 640x480 пікселів, число клавіш - до 68. Панелі мають вбудований процесор, що розвантажує ПЛК від операцій формування зображення в реальному часі.

Побудова систем комплексної автоматизації підприємств вимагає включення практично кожного ПЛК в інформаційну мережу підприємства, здатну працювати в складних промислових умовах, тому одним з основних вимог до сучасного ПЛК будь-якого формату є апаратна і програмна сумісність з одним або декількома стандартами мереж промислового призначення. У недалекому минулому багато фірм виробників ПЛК та засобів автоматизації розробляли власні протоколи обміну (DH-485 для Allen Bradley, Ksequence для PLC-Direct, Telway для Telemecanique). Це в значній мірі обумовлено ієрархічної топологією мережі для великих виробничих установок, які вимагають використання декількох децентралізованих систем управління, виконаних, як правило, на ПЛК однієї фірми і підключених до потужного ПЛК верхнього рівня тієї ж фірми (рис. 11.6). Такий підхід був вигідний фірмам виробникам, так як змушував застосовувати тільки його обладнання. Однак очевидне посилення інтеграції на рівні SCADA вимагає отримання інформації в централізоване користування практично від кожного ПЛК.

У зв'язку з цим конкурентоспроможними залишаються ті ПЛК, які забезпечують сполучення з відкритими промисловими мережами, такими як MODBUS, PROFIBUS, ETHERNET. Саме адаптацією до різних промислових мереж обумовлена надзвичайна різноманітність WG сучасних потужних ПЛК.

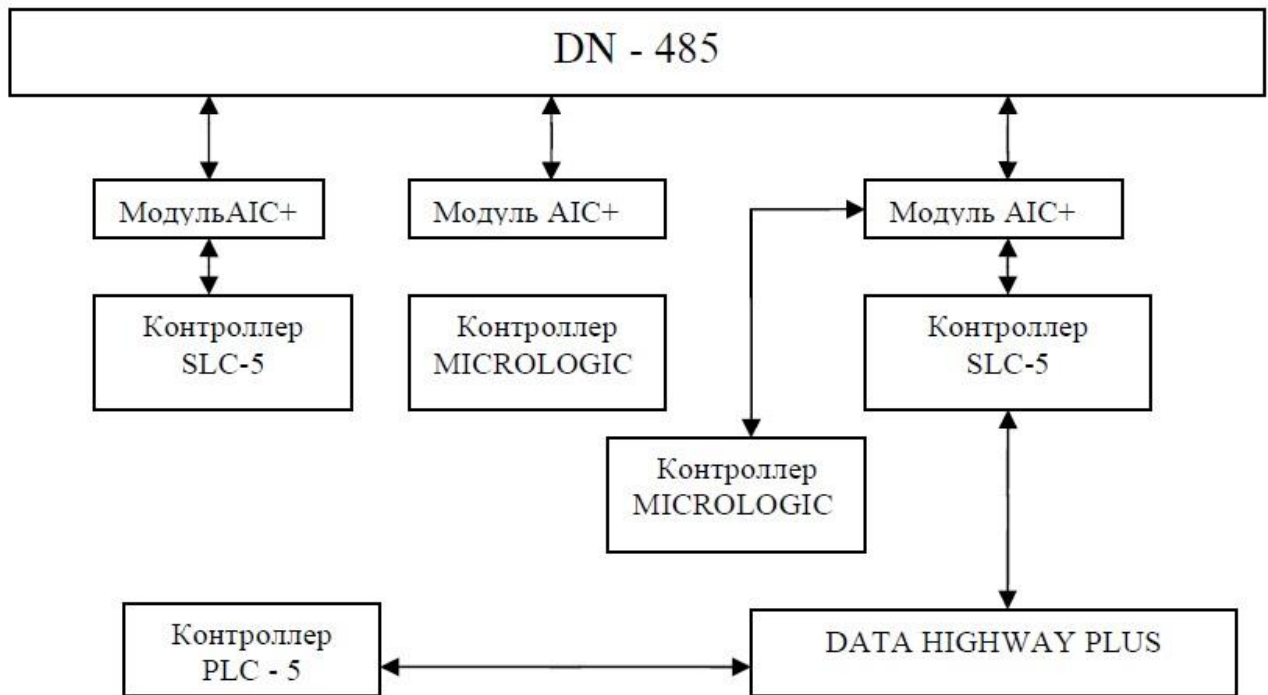


Рис. 11.6 Ієрархічна мережа на основі ПЛК

**11.5.1. Потужний ПЛК.** Розглядаючи сучасний стан обчислювальної техніки, легко піддатися спокусі, і перекласти функції інтерпретатора на програмні засоби розробки прикладного програмного забезпечення, оригінальні пакети яких, працюють в середовищі Windows, має кожна фірма. Таке рішення передбачає заміну спеціалізованого модуля ЦП універсальним програмованим контролером з відкритим програмним забезпеченням.

Цей напрямок зараз активно розвивається, і отримав назву «Soft PLC». Однак виробники ПЛК не поспішають повністю відмовлятися від спеціалізованих ЦП. Вельми показово, що розробники найпотужнішого на сьогодні ПЛК SIMATIC S7-400 з метою підвищення швидкодії пішли на виконання ЦП мультипроцесорним, але не стали відходити від розглянутого вище принципу побудови ОС ПЛК. Досягнуту таким чином швидкодію (див. табл. 11.1) можна порівняти з швидкістю програм управління промислових контролерів, написаних на мові СІ.

Розглянута спрощена ОС ПЛК є однозадачною. Якщо ПЛК замінює кілька незалежних релейних схем, програмні модулі, що реалізують кожен зі схем, розташовані в пам'яті послідовно. У зв'язку з цим час реакції ПЛК на зміну вхідних сигналів визначається сумарним часом виконання всіх програмних модулів. Якщо серед обслуговуваних пристроїв виявиться такий, який вимагає більш швидкої реакції, то розглянута однозадачна ОС цього зробити не дозволить. Очевидно, мультипроцесорний шлях підвищення швидкодії застосовується лише для потужних ПЛК (але для них він, звичайно, не єдиний).

Інший спосіб підвищення швидкодії ПЛК - перехід до багатозадачних ОС. Раніше багатозадачні ОС були характерні тільки для потужних ПЛК. В даний час така ОС – не рідкість навіть для ПЛК малого формату. Так, двохзадачну ОС має ПЛК середнього формату Telemecanique TSX 47-10 / 20. Програма управління, що записується в цей ПЛК, повинна бути розділена на два завдання. Ініціалізація виконання «швидкого» завдання виконується періодично з регульованим розробником інтервалом між зверненнями (від 5 до 10 мс). програма «повільного» завдання запускається на виконання по сигналу сторожового таймера кожні 150 мс. Окремі частини цієї програми виконуються з поділом за часом після завершення чергового циклу обробки «швидкого» завдання. В ПЛК малого формату Modicon TSXMicro реалізована багатозадачна ОС. Для створення багатозадачних ОС використовують механізм переривання за сигналами зовнішніх пристроїв, якими керує ПЛК. Такий механізм використовують всі ПЛК фірми Siemens (див. рис 11.5).

Надання ПЛК регулюючих функцій неминуче зажадало введення до складу мов програмування ПЛК команд роботи з двійковими словами. ПЛК стали виконувати складні обчислення, причому арифметики в форматі з фіксованою комою виявилось недостатньо - зараз багато ПЛК мають в системі команд бібліотеки для роботи з числами в форматі з плаваючою комою. В першу чергу арифметичні команди використовуються для реалізації алгоритмів ПД-регуляторів, причому не просто регуляторів, а з алгоритмами самонастроювання і оптимізації перехідних процесів.

Незважаючи на таке істотне ускладнення базового програмного забезпечення, розробники ПЛК не поспішають йти від перевірених часом принципів побудови ПЛК. Так, алгоритм функціонування всіх ПЛК фірми Siemens (законодавця в області ПЛК), аж до потужного S7-400, виконаний за схемою, показаною на рис 11.5, а не у вигляді системи з вільно завантажуваним програмним забезпеченням. Вельми показовим є приклад з Telemecanique TSX 47-10 / 20. Для включення алгоритму ПД-регулювання в його програму необхідно не тільки записати відповідні команди, але і підключати спеціальний блок пам'яті в роз'єм на передній панелі корпусу ПЛК. Користувачеві при зверненні до функції ПД-регулювання слід задати тільки коефіцієнти і постійні часу програмного коду регулятора.

**11.5.2. ПЛК малого формату (MicroPLC).** ПЛК малого формату були і залишаються найбільш чисельною групою в сімействі логічних контролерів. Цей факт в повній мірі підтверджується числом рядків табл.11.3, в якій наведено характеристики ПЛК малого формату, наявні на українському ринку.

Табл11.3. ПЛК малого формату (Micro PLC)

| Модель ПЛК, фірма, габарити        | Виконувані функції  | Параметри ЦП   | Параметри                 |  |
|------------------------------------|---|--|---------------------------|--|
|                                    |   |  | Вхід                      | Вихід  |
| Simatic S7-200 Siemens (197*80*62) | Логічні, тимчасові, рахункові, арифметичні з фіксованою і плаваючою комою   | CPU214<br>Пам'ять програм - 2К<br>ОЗУ даних - 2К<br>Швидкодія - 0,8 мкс                          | = 24В<br>~ 130В           | Транзистор 24В / 0,5А<br>Реле +24В / 2А                |
| (218*80*62)                        | Логічні, тимчасові, рахункові, арифметичні з фіксованою і плаваючою комою, ПІД-регулятор  | CPU216<br>Пам'ять програм - 8К<br>ОЗУ даних - 2,5К<br>Швидкодія-0,8 мкс                          |                           |  |
| Modicon-TSX Micro                  | Логічні, тимчасові, рахункові, арифметичні зі словами одинарної і подвійної довжини, в форматі з плаваючою комою, робота з таблицями, ПІД-регулятор | Швидкодія - 0,3 мкс<br>Пам'ять програм - 4,7К<br>Пам'ять програм - 7,8К<br>Пам'ять програм - 40К | = 24В<br>~ 115В<br>~ 240В | Транзистор 24В / 2А<br>Реле 240В / 2А                  |
| DL 205 PLK Direct By Koyo Inc.     | Логічні, тимчасові, рахункові, арифметичні. Годинники реального часу. Вбудований журнал самодіагностики, 4 ПІД-регулятора з самоналаштуванням       | DL250<br>Пам'ять програм 7К<br>ОЗУ - 7К  | = 24В<br>~ 132В           | Транзистор 24В,<br>Тріак 264В / 0,5А<br>Реле 264В / 1А |

Три чинники визначають їх настільки стійку позицію. Перше, в даний час спостерігається прагнення до автоматизації тих об'єктів, які раніше цьому не підлягали - управління запірною арматурою різних трубопроводів і т.д. По-друге, «освоєння» малими ПЛК функцій регулювання дозволяє їм значною мірою замінити ПЛК середнього формату. По-третє, середні і потужні ПЛК частково витісняються промисловими комп'ютерами і контролерами.

Аналіз даних табл.11.3, дозволяє виявити деякі тенденції розвитку малих ПЛК:

- Відбулась зміна елементної бази пам'яті програм. Незалежне ОЗУ з блоком резервного живлення на акумуляторах замінили програмовані користувачем ПЗУ з електричним стиранням (типу EEPROM або FLASH). Мікросхеми цієї елементної бази мають велику інформаційну щільність при меншому

енергоспоживанні. Це дозволило істотно збільшити пам'ять програм малих ПЛК (до 64К) при зменшенні габаритів плат ЦП. Автономне резервне джерело живлення тепер може використовуватися для підтримки працездатності пристрою в цілому (контролери TeleSAFE).

- Загальне вдосконалення мікроелектронної бази призвело до мініатюризації малих ПЛК. Максимальний лінійний розмір всіх моделей лежить в межах 20 см.
- Змінився підхід до конструктивного виконання ПЛК малого формату. Майже повністю зникли малі ПЛК модульного виконання. Базова модель ПЛК малого формату тепер має незмінну користувачем конфігурацію з фіксованим числом дискретних входів / виходів (їх стали називати інтегрованими). Базова модель виконується в декількох модифікаціях, що розрізняються типом вбудованого джерела живлення (+24 В або 130/240 В), типом ЦП та електричними параметрами дискретних входів / виходів. Це пояснюється тим, що у зв'язку з мікромініатюризацією електронних компонентів відкрилася можливість підвищити надійність ПЛК шляхом зменшення числа плат в його конструктивному виконанні. Нерідкі одноплатні варіанти. Незважаючи на незмінну конфігурацію по числу входів / виходів базової моделі, практично всі малі ПЛК мають можливість підключення модулів розширення з адаптерами аналогових і додаткових дискретних входів / виходів. Підключення саме модулів розширення переслідує дві мети. По-перше, забезпечити перешкодозахищене введення сигналів з віддалених датчиків, що досягається шляхом передачі даних від модуля розширення до базової моделі по спеціальній цифровій магістралі. Довжина такої магістралі може досягати декількох сотень метрів, тому схемотехнічне виконання цифрової частини адаптерів розширення значно відрізняється від аналогічних за функціями інтегрованих адаптерів. Іноді такі адаптери називають модулями віддаленого введення. І тільки, по-друге, модулі розширення служать для збільшення числа входів / виходів. Як правило, малі ПЛК мають два способи програмування: з допомогою кишенькового програматора або через інтерфейс послідовного обміну з використанням засобів розробки, реалізованих на персональному комп'ютері. Для найпростіших ПЛК (чітко простежується прагнення до реалізації режиму програмування «на лінії», при якому не потрібно ніяких додаткових пристроїв (див. LOGO і TeleSAFE).

Практично всі ПЛК малого формату підтримують один або кілька протоколів обміну локальних промислових мереж. Мережеві можливості стають однією з головних характеристик виробів даного класу.



Розглянемо окремі зразки малих ПЛК. Simatic S7-200 і Modicon TSX Micro - найшвидкодійніші і потужні серед малих ПЛК. Близький до них, за функціональними можливостями DL205 PLC Direct. Фірма PLC Direct by KOYO – порівняно нова на українському ринку засобів автоматизації, але надає повний ряд ПЛК з дуже хорошими технічними характеристиками.

Доволі органічний новий маленький LOGO фірми Siemens. В електротехніці його навіть називають не ПЛК, а універсальним логічним модулем. Половину площі передньої панелі корпусу LOGO займає графічний РКІ дисплей, на якому за допомогою шести клавіш можна «зібрати» схему комутації з 30 функціональних модулів. LOGO запам'ятає програму у FLASH пам'яті і буде реалізовувати заданий алгоритм комутації. При необхідності контролер може бути перепрограмований на місці установки. Пристрій має захист від несанкціонованого доступу.

Особливу увагу слід приділити ряду ПЛК TeleSAFE. Він являє собою нову лінію ПЛК - контролери для віддалених станцій збору даних і управління. Базова модель ПЛК має всього від трьох до п'яти дискретних входів / виходів, але обов'язково оснащена адаптерами аналогових входів. Контролери мають вбудований годинник / календар для складання архівів даних. Основна риса цих ПЛК - видатна комунікаційна гнучкість. TeleSAFE можуть працювати з комутуваними або виділеними телефонними лініями або радіолініями. Програмна підтримка TeleSAFE дозволяє працювати практично через будь-яку мережу. ПЛК TeleSAFE всепогодні, вони єдині серед запропонованого списку можуть експлуатуватися при мінусовій температурі.

## **12 ВИБІР ПРОМИСЛОВИХ КОНТРОЛЕРІВ**

### **12.1 Критерії вибору промислових контролерів**

### **12.2 Адекватність функціонально-технологічної структури об'єкта**

### **12.3 Продуктивність контролерів для АСУТП**

### **12.4 Спеціальні модулі контролерів для АСУТП**

Ключові слова: критерії вибору, адекватність, продуктивність, оптимальне співвідношення, спеціальні модулі.

### **12.1. Критерії вибору промислових контролерів**

ПЛК отримали широке застосування у всіх областях промислового виробництва. Велика і швидкозмінна номенклатура ПЛК на ринку виробників засобів автоматизації вводить розробників АСУТП в скрутну ситуацію по

їхньому вибору, виходячи з економічної доцільності певного типу контролера і його конкретного виробника.

Якщо спочатку ПЛК сильно відрізнялися за якістю виготовлення компонентів (технологія), функціональністю (набір базових і спеціальних функцій), продуктивністю, структурою локальної шини управління і даних для зв'язку з ПСО, системними програмними засобами, інструментальними пакетами для розробки прикладного ПЗ і засобів діагностики, то сьогодні є тенденція до зближення всього спектру характеристик ПЛК.

На ринку ПЛК будь-яка представницька фірма (вітчизняна або зарубіжна) може компетентно заявити про застосування своїх контролерів в широкій області промислової автоматизації. За якими ж критеріями обираються ПЛК для конкретної централізованої або розподіленої АСУТП ?.

Пропонуються різні варіанти базових критеріїв при оцінці вибору ПЛК:

- технічні характеристики;
- експлуатаційні характеристики;
- споживчі властивості.

У різних варіаціях ПЛК оцінюються за швидкодією, продуктивністю, обсягом пам'яті програм, кількістю каналів введення / виведення і функціональними властивостями.

Оцінка ПЛК з технічних і експлуатаційних характеристик і за споживчими властивостями є природною, але її не можна назвати всеохоплюючою. Наприклад, не враховуються комунікаційні можливості, місце в ієрархії систем АСУТП і інші характеристики.

Пропонуються наступні вимоги, яким можуть задовольняти ПЛК:

- адекватність функціонально-технологічної структури об'єкта;
- оптимальне співвідношення ціна-продуктивність;
- широка номенклатура спеціалізованих модулів (мережеві модулі, модулі зважування, управління рухом та ін.);
- можливість побудови систем резервування та протиаварійного захисту.

## **12.2. Адекватність функціонально-технологічної структури об'єкта**

Централізовані та розподілені АСУТП представляють собою ієрархічну структуру, що складається з ряду рівнів.

Для централізованої АСУТП це такі рівні, як:

- диспетчерський;
- цеховий;
- технологічний.

Для розподіленої АСУТП це рівні:

- диспетчерський;
- цеховий;
- локальний;
- технологічний.

ПЛК використовуються на цеховому і локальному рівнях.

Застосування контролерів на цеховому рівні централізованої АСУТП повинно відповідати таким основним вимогам:

- локальна або польова (промислова) шина обміну між контролером і розподіленим (віддаленим) ПСО (Наприклад, Modbus Plus, PROFIBUS) зі швидкістю обміну не менше 1 Мбіт/с;
- індустріальна шина обміну між контролером і АРМ диспетчера;
- кількість змінних на один ПЛК перевищує 280/112 дискретних / аналогових;
- ОС реального часу;
- синхронізація часу;
- обробка переривань;
- контури регулювання;
- архівування даних;
- система резервування (не обов'язково);
- програмування в режимі реального часу (on-line).

Оптимальними, з цієї точки зору, є контролери з шиною VME або з локальною шиною для обміну даними з вбудованими ПСО, наприклад, контролери типу VME9300-42, IUC9000 (Kontron), SIMATIC S5-115F, SIMATIC S7-400 (Siemens), Premium, Quantum (Schneider Electric) 90-30,90-70 GE (Fanuc), серії 6000 (Octagon Systems). Застосування контролерів на цеховому рівні

розподілених АСУТП аналогічно їх застосуванню на цеховому рівні централізованих АСУТП, за винятком наступних особливостей:

- обов'язкова система резервування;
- кількість змінних на систему досягає 1000;
- для обміну даними між цеховим контролером і локальними контролерами використовується польова шина.

Цим вимогам відповідають контролери типу VME9300-42 (Kontron), SIMATIC S5-115F, SIMATIC S4-400H (Siemens), Premium, Quantum (Schneider Electric). Застосування контролерів на локальному рівні розподілених АСУТП повинно відповідати таким основним вимогам:

- локальна польова шина обміну між контролером і розподіленим (віддаленим) ПСО (наприклад, Modbus Plus, PROFIBUS) зі швидкістю обміну не менше 1 Мбіт/с;
- польова шина обміну між локальним і цеховим контролерами;
- кількість змінних на один ПЛК досягає 280/112 дискретних / аналогових;
- ОС реального часу;
- підтримка синхронізації часу;
- контури регулювання;
- програмування в режимі реального часу (on-line).

Цим вимогам відповідають контролери типу IUC9000, SMART I/O (Kontron), SIMATIC S7-300H (Siemens), Premium, Compact (Schneider Electric), 90-30 (GE Fanuc).

В окрему групу виділяються контролери для наступних застосувань:

- контролери протиаварійного захисту (ПАЗ);
- контролери збору віддалених каналів телемеханіки (RTU).

Контролери ПАЗ застосовуються в системах протиаварійної захисту. Особливості системи ПАЗ полягають у наступному:

- висока готовність системи;
- контролер ПАЗ може бути виділений з системи в окремий блок, якщо система ПАЗ входить до складу АСУТП;

- резервування джерел живлення системи;
- малий час реакції системи на подію (переривання);
- введення аналогових сигналів без мультиплексування виробляється високошвидкісними модулями ПСО з ізоляцією між каналами не менш як 1500 В.

Даним характеристикам повною мірою задовольняють контролери SIMATIC S5-115F (Siemens), Premium, Quantum (Schneider Electric), 90-30, 90-70 (GE Fanuc).

Контролери входять до складу обладнання автоматизованих систем контролю і управління (АСКУ) віддаленими об'єктами, де засоби комунікації та доступу до об'єкту затруднені. Властивості контролерів, що входять до складу АСКУ віддалених об'єктів, такі:

- комунікаційна підтримка послідовних і модемних каналів;
  - стандартний протокол обміну;
  - розширений діапазон температури від - 40 до +60 °С;
  - вбудована діагностика;
  - програмування в режимі реального часу (on-line);
  - захист від провалів живлення за допомогою батареї або безперебійного БЖ.
- Для цих цілей фірмами Schneider Electric і Bristol Babcock розроблені спеціальні контролери Compact і серії Network DSC3000.

### 12.3. Продуктивність контролерів для АСУТП

Продуктивність ПЛК оцінюється за такими характеристиками:

- час зчитування (вибору) каналу телевимірювання;
- час обробки команд (двійкових, логічних, булевих);
- час обороту маркера на зовнішній шині;
- цикл додатку завдання майстра (опитувального пристрою);
- пропускну здатність локальної або промислової шини;
- цикл додатку завдання виконавця (опитуваного пристрою).

Одним з істотних параметрів ПЛК є **час зчитування ( $T_{ск}$ )** каналу модуля телевимірювання. Цей час представляється в технічних характеристиках на модуль ПСО неявно у вигляді часу перетворення аналогового модуля (близько

50 мкс для типового модуля) і в явному вигляді наводиться в межах 0,2...4,0 мс. Сумарний час перетворення і час на обробку результату (час драйвера модуля ПСО) визначає  $T_{ск}$ .

**Час обробки команд ( $T_{ок}$ )** дається в технічних характеристиках на модуль ЦП в розрахунку на обробку 1К операцій. Це час відноситься до обробки операндів в додатку, побічно можна оцінити за обсягом додатку в пам'яті програм. Як правило, час обробки команд значно перевищує сумарний час зчитування каналів і в підсумку визначає час циклу завдання в інструментальному пакеті ПЛК.

**Час обороту маркера ( $T_{ом}$ )** визначається циклами зчитування модулів ПСО на локальній шині або циклами прикладної задачі на локальних контролерах, а також пропускну здатністю шини.  $T_{ом}$  визначається за формулою:

$$T_{ом} = (N - 1) + n \cdot (T_z + T_v + T_{xx}) \cdot T_{бim/c},$$

де  $N$  - кількість вузлів;

$n$  - кількість змінних;

$T_z$  - час запиту;

$T_v$  - час відповіді;

$T_{xx}$  - час холостого ходу;

$T_{бim/c}$  - час передачі 1 біта в секунду.

На рис. 12.1 і 12.2 дані тимчасові співвідношення циклу додатку,  $T_{ск}$  і  $T_{ом}$ , (де  $T_{зк}$  - час зчитування каналу;  $T_{ом}$  - час обороту маркера;  $T_{зм}$  - час зчитування модуля;  $T_{зв}$  - час зчитування вузла) для опитування на промислових шинах Modbus Plus і Profibus.

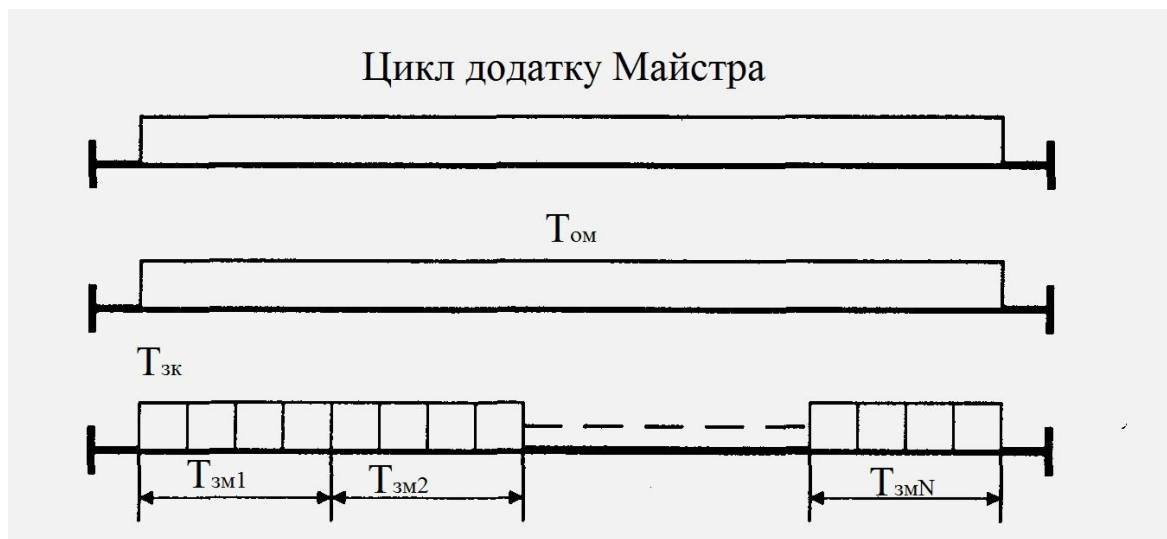


Рис. 12.1 Опитування на промисловій шині типу Modbus Plus

Час обороту маркера на локальній і промисловій шині рівний циклу додатку вузла датчика (майстра) на шині і може бути менший за пропускну здатність шини. Цикл додатку вузла виконавця на промисловій шині не повинен перевищувати  $T_{om}$ , інакше програма не встигне підготувати дані для опитування. Цикл додатку майстра на промисловій шині може бути менше циклу додатку виконавця, але при цьому не в кожному циклі додатку майстра дані модифікуються.

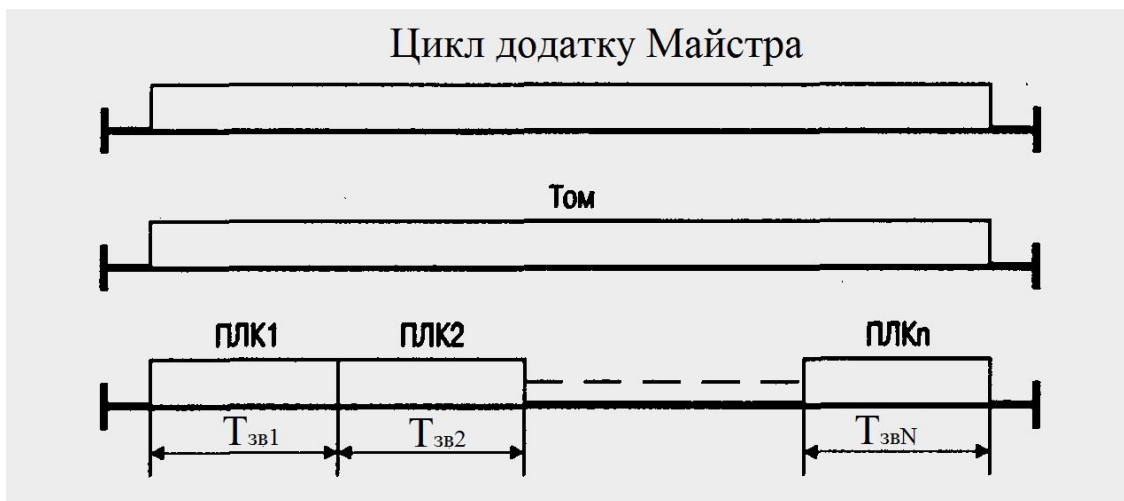


Рис. 12.2 Опитування на промисловій шині типу Profibus

Табл. 12.1 Лінійка контролерів від основних виробників

| Фірма              | Лінійка верхнього рівня | Лінійка середнього рівня | Лінійка нижнього рівня |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| Kontron            | VME9300                 | IUC9000                  | Smart I/o              |
| Siemens            | SIMATIC S7-400          | SIMATIC S7-300           | ET200                  |
| Schneider Electric | Quantum                 | Premium                  | Micro/Nano             |
| GE Fanuc           | 90 - 70                 | 90 - 30                  | VersaMax               |

У табл. 12.1 представлені лінійки контролерів від основних виробників. Лінійка контролерів є групою контролерів з однаковим конструктивом, рівними функціональними можливостями, але з різною продуктивністю в залежності від ЦП. Лінійки контролерів у різних виробників лежать в одному шарі з рівними типовими рішеннями конструктиву, набору функцій, щільності каналів ПСО та ін. Лінійки поділяються за рівнями (табл. 12.1):

- лінійка верхнього рівня (потужні цехові контролери, як правило, типу VME);
- лінійка середнього рівня (контролери локального рівня АСУТП, середньої продуктивності);

- лінійка нижнього рівня (контролери – інтелектуальні ПСО для зв'язку з розподіленими об'єктами).

В одній лінійці ПЛК відрізняються за продуктивністю центральних процесорів і їх комунікаційними можливостями. Вартість ПЛК в однорівневих лінійках різних виробників контролерів близька до рівного номіналу. В ряду однієї лінійки вартість ПЛК може коливатися в межах вартості ЦП.

#### **12.4. Спеціалізовані модулі контролерів для АСУТП**

Поряд з традиційними модулями дискретних, аналогових і послідовних каналів на ринку промислових контролерів є ніша для набору спеціалізованих модулів, які розширюють номенклатуру спектра застосування промислових контролерів. Склад спеціалізованих модулів наступний:

- модулі комунікаційні;
- модулі - лічильники;
- модулі частотні;
- модулі зважування;
- модулі управління рухом;
- модулі захисту;
- модулі швидкісного аналогового введення для систем вимірювання в реальному часі.

### **13 СИСТЕМИ ПРОТИАВАРІЙНОГО ЗАХИСТУ В АСУТП.**

13.1 Необхідність застосування протиаварійного захисту

13.2 Призначення системи безпеки гнучких виробництв

13.3 Призначення системи ПАЗ в АСУТП

13.4 Забезпечення системи ПАЗ

13.5 Забезпечення надійності в системі ПАЗ

Ключові слова: модернізація, протиаварійний захист (ПАЗ), аварійні події, забезпечення надійності, метод обробки.



### **13.1. Необхідність застосування протиаварійного захисту.**

У сучасній українській промисловості важливою особливістю розвитку є модернізація застарілих автоматизованих систем управління технологічними процесами. Необхідність модернізації пояснюється наступними причинами:

- критичний стан основних виробничих фондів;
- необхідність дотримання жорстких міжнародних стандартів з безпеки виробництва, особливо вибухонебезпечного;
- необхідність застосування в АСУТП сучасного контролерного обладнання на базі відкритих стандартів, розробок в області систем резервування та аварійних захистів від лідерів ринку систем автоматизації.

Розглянемо найвідповідальніший елемент АСУТП, який застосовується в гнучкому і вибухонебезпечному виробництві – системі протиаварійного захисту (ПАЗ). Системи ПАЗ знаходять широке застосування в АСУТП, зважаючи на підвищені вимоги на аварійну ситуацію, збільшеного рівня автоматизації технологічних процесів, що призводить до збільшення ймовірності виникнення аварійної ситуації.

Системи ПАЗ поділяються на дві структури:

- ПАЗ в системах безпеки гнучких виробництв;
- ПАЗ в АСУТП вибухонебезпечних виробництв.

### **13.2. Призначення системи безпеки гнучких виробництв**

Системи безпеки гнучких виробництв виконують функції захисту робочого персоналу і машинного обладнання при виникненні аварійної ситуації. Модулі безпеки або входять до складу модулів контролера (наприклад, TSXPAY для сімейства контролерів типу Premium фірми Schneider Electric), або є автономними (PREVENTA, ESTOP) і можуть інтегруватися в обладнання шафи автоматики АСУТП.

Автономні модулі безпеки призначені для моніторингу аварійної зупинки і використовуються для безпечного розриву однієї або декількох схем управління механізмом. Модулі задовольняють вимогам європейських стандартів EN 418 - для аварійних зупинок і EN - 60204-1 - для схем безпеки. Ці стандарти діють в особливих випадках, де до пристрою аварійної зупинки пред'являються вимоги розімкнути кілька схем (аварійна зупинка непрямої дії). Модулі моніторингу аварійної зупинки оснащені блоком безпеки на апаратній логіці, що управляє аварійним зупинкою. Це забезпечує функцію безпеки до категорії 3, відповідно до стандарту EN-954-1. Додатково в модулях аварійної

зупинки передбачена повна діагностика системи безпеки (зчитуванням стану кнопок або обмежувальних вимикачів у вхідному ланцюзі аварійної зупинки), контур зворотного зв'язку і контроль двох ланцюгів виходу. Системи безпеки, побудовані на автономних модулях, відповідають сучасним стандартам, але використовуються в основному в централізованих АСУТП і автоматизованих системах з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

У розподілених АСУТП підхід в реалізації системи безпеки для обслуговуючого персоналу ПТК і збереження обладнання повинен бути іншим.

Необхідність управління пристроями на значній відстані призводить до створення розподіленого блоку екстреної аварійної зупинки (БЕАЗ), основний механізм управління якого перебуває в шафі цехового контролера або спеціальній шафі контролера БЕАЗ. Виконавчі БЕАЗ вбудовуються в шафи автоматики, які задіяні в екстреній аварійній зупинці (ЕАЗ).

Розподілений БЕАЗ забезпечує наступні функції:

- моніторинг кнопок пульта аварійної зупинки для негайної зупинки виконавчого обладнання системи (аварійна зупинка категорії 0 відповідно до стандарту EN - 418);
- апаратна ЕАЗ, що не залежить від контролера;
- резервування ланцюга ЕАЗ;
- моніторинг джерела живлення БЕАЗ;
- гальванічна ізоляція вхідних і вихідних ланцюгів комутації БЕАЗ;
- захист вхідних і вихідних ланцюгів комутації БЕАЗ від перенапруги.

### **13.3. Призначення системи ПАЗ в АСУТП**

На ринку промислових контролерів окрему нішу займають програмовані логічні контролери (ПЛК) для застосування в системах протиаварійного захисту. Системи ПАЗ призначені для підтримки технологічного обладнання і виробництва в безпечному стані, своєчасному виявленні і попередженні аварійної ситуації, проведенні аварійних блокувань за заданими алгоритмами в разі виникнення аварійної ситуації, а також зупинки технологічного процесу і обладнання та перекладу керуючих механізмів в безпечний для навколишнього середовища і персоналу стан.

Згідно ПБ 09-170-97 АСУТП повинна відповідати вимогам ГОСТ 24.104-85 «Системи автоматичного управління технологічними процесами і ПАЗ на

базі засобів обчислювальної та мікропроцесорної техніки», технічного завданням на систему і забезпечувати наступні функції:

- постійний контроль параметрів процесу і управління режимом для підтримки регламентованих значень цих параметрів;
- контроль працездатного стану системи ПАЗ і реєстрація спрацьовування захистів;
- постійний контроль стану навколишнього середовища в межах об'єкта;
- постійний аналіз зміни параметрів в сторону критичних значень і прогнозування можливої аварії;
- контроль за допомогою засобів управління і ПАЗ за розвитком і локалізацією небезпечної ситуації, вибір і реалізація оптимальних керуючих впливів;
- проведення операцій безаварійного пуску, зупинки і всіх необхідних для цього перемикань;
- видача інформації про стан безпеки на об'єкті в вищестоящу систему управління.

Ядро системи ПАЗ становить промисловий контролер, як правило резервований з операційною системою реального часу. Швидкодія ПЛК не є вирішальним моментом в обробці аварійних ситуацій. Контролер захистів повинен мати комутаційні можливості з виходом на локальні шини.

#### **13.4. Забезпечення системи ПАЗ**

Для забезпечення системи ПАЗ необхідно:

- промисловий контролер, побудований на сучасній елементній базі;
- відмовостійка структура контролера (напрацювання на відмову не менше 100000 годин);
- своєчасне виявлення і попередження аварійної ситуації;
- висока реактивність системи на подію (переривання);
- високошвидкісний аналоговий/дискретний ввід;
- ізолювання каналів введення/виводу не менше 1000 В;
- дублювання пристроїв введення / виводу при одночасному скануванні каналів контролерами системи управління і захистів, а також при резервуванні контролера захистів;

- забезпечення надійного безперебійного живлення системи ПАЗ;
- реалізація алгоритмів ступінчастої логіки для пуску, зупинки, блокувань пристроїв управління об'єктом і приведення основних блоків системи в початковий, безаварійний стан;
- організація буфера аварійних повідомлень в пам'яті програм контролера;
- доставка аварійних повідомлень (транзакцій) в режимі реального часу на верхній рівень в робочу станцію;
- формування і зберігання аварійних трендів в архіві робочої станції;
- вбудована самодіагностика, яка фіксує відмову з точністю до типового елемента заміни;
- забезпечення гарячої заміни модулів ПСО без виключення електроживлення контролера.

### **13.5. Забезпечення надійності в системі ПАЗ**

Основна проблема забезпечення надійності полягає в виборі системи резервування ПАЗ. Грунтуючись на прийнятих правилах (ПБ 09-170-97) і вимогах ГОСТ 24.104-85, часто пропонується реалізувати систему ПАЗ з резервуванням процесорного модуля. Недоліки резервування процесорного модуля полягають у наступному:

- не всі сучасні промислові контролери мають можливість побудови багатопроцесорної архітектури. Широко відомий варіант це контролери з шиною VME. Але це досить дорогі контролери;
- відмовостійка система передбачає своєчасне виявлення, попередження аварійної ситуації і забезпечення заміни несправного елемента системи без переривання технологічного процесу. Це не забезпечується резервуванням процесорного модуля;
- при виході з ладу джерела живлення контролера система ПАЗ непрацездатна;
- при виході з ладу арбітра (він необхідний в багатопроцесорній системі) система ПАЗ непрацездатна;
- в системах з високошвидкісними паралельними шинами даних, адреси і управління, де можлива побудова двохпроцесорної архітектури, часто відбуваються непередбачені відмови з неможливістю продовження процесу. Необхідне загальне скидання або перемикання живлення контролера і перезавантаження програми контролера, а це неприпустимо для системи ПАЗ;

- при виході з ладу основного процесора резервний може не підхопити процес (безударне перемикавання), з огляду на виникнення конфліктної ситуації на шині (зависання);
- на процесорний модуль припадає значна частка вартості всього контролера (більше 50%). Тому висока надійність системи ПАЗ передбачає резервування всіх складових частин контролерного обладнання, а саме:
  - резервування процесора;
  - резервування локальної шини обміну ПЦ-ПСО;
  - резервування крейта;
  - резервування джерела живлення (ДЖ) контролера;
  - резервування комунікаційних інтерфейсів.

А це виливається в дублювання контролера. Така система ПАЗ забезпечує 100-відсоткове «гаряче» резервування.

Висока реактивність системи ПАЗ реалізується за допомогою двох методів. Перший метод заснований на застосуванні високошвидкісних дискретних модулів ПСО. Додаток контролера працює з перериваннями, при цьому в пам'яті контролера формується кільцевий буфер (FIFO), об'єм якої залежить від часу збереження архівного тренду. Недоліком даного методу є необхідність зберігання передісторій аварійної події в пам'яті контролера, яка не розрахована на зберігання аварійних трендів.

При використанні другого методу аварійне повідомлення, яке супроводжується міткою часу (timestamp), передається із виконуваної в контролері прикладної програми на верхній рівень в АРМ. Саме там обробляється передісторія події і зберігається аварійний тренд (на жорсткому диску). Пам'ять контролера використовується для формування таблиць і буфера аварійних повідомлень, але при цьому не потрібно великого обсягу пам'яті буфера. Транзакції відбуваються з високою швидкістю, на порядок вище традиційного обміну між додатком і системою SCADA. Даний метод не вимагає застосування високошвидкісних контролерів і модулів ПСО, а також спеціальної області пам'яті для зберігання тимчасового масиву аварійної події.

### Список літератури:

1. Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП. Учебное пособие для студентов специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств» (по отраслям), Санкт-Петербург, 2006.
2. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). М. «Финансы и статистика». 1982
3. Закер К. Компьютерные сети. Модернизация и поиск неисправностей. Санкт-Петербург. «БХВ-Петербург». 2003
4. Олифер В.Г. Олифер Н.А. Компьютерные сети. Учебник. Санкт-Петербург. Питер. 2001
5. Жеретинцева Н.Н. Курс лекций по компьютерным сетям. Владивосток 2000
6. Панфилов И.В., Заяц А.М. Архитектура ЭВМ и систем. Учебное пособие. ЛТА. СПб. 2003
7. Панфилов И.В., Хабаров С.П., Заяц А.М. Информационные сети. Учебное пособие. ЛТА. СПб. 2003
8. Компьютерные сети. Учебный курс. Мю, Русская редакция, 1997
9. Страшун Ю.П. Основы сетевых технологий для автоматизации и управления. М., Издательство МГТУ 2003
10. Домрачев С.А., Компьютерные сети. Учебное пособие. М. 1999
11. Егоров С.В., Мирахмедов Д.А. Моделирование и оптимизация в АСУТП. М. 1988
12. Громов В.С., Тимофеев В.Н. Системы противоаварийной защиты в АСУТП. Мир компьютерной автоматизации, №3, 2003
13. Громов В.С., Покутний А.В., Вишнепольский Р.Л., Тимофеев В.Н. особенности проектирования распределенных АСУТП.  
<http://www.astp.ru/?p=600406>
14. Иванов А.Н., Золотарев С.В. Построение АСУТП на базе концепции открытых систем. <http://www.osp.ru/pcworld/1998/01/40/htm>
15. Норенков И.П., Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 2002. №1
16. Егоров А.А. Открытые технологии и промышленные АСУ. Промышленные АСУ и контроллеры. 2003. №1
17. Калядин А.Ю. Использование масштабируемой архитектуры в АСУТП на промышленных предприятиях. Промышленные АСУ и контроллеры. 2001. №2
18. Ремизевич Т.В. Современные программируемые логические контроллеры. Приводная техника. 1999. № 1-2

## Зміст

|  |    |
|--|----|
| Вступ .....  | 3  |
| I. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ                                 |    |
| 1.1 Основні поняття і визначення .....               | 5  |
| 1.2 Функції АСУТП .....                              | 7  |
| 1.3 Склад АСУТП .....                                | 10 |
| 1.4 Загальні технічні вимоги .....                   | 11 |
| 1.5 Класифікація АСУТП.....                          | 12 |
| 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ МЕРЕЖЕВОЇ ТЕРМІНОЛОГІЇ            |    |
| 2.1 Основні визначення і терміни .....               | 16 |
| 2.2 Переваги використання мереж .....                | 19 |
| 2.3 Архітектура мереж .....                          | 20 |
| 2.4 Вибір архітектури мереж .....                    | 26 |
| 3. ПОБУДОВА АСУТП НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЇ ВІДКРИТИХ СИСТЕМ |    |
| 3.1 Особливості АСУТП .....                          | 26 |
| 3.2 Робота мережі .....                              | 27 |
| 3.3 Взаємодія рівнів моделі OSI .....                | 29 |
| 3.4 Опис рівнів моделі OSI .....                     | 29 |
| 4. ТОПОЛОГІЯ МЕРЕЖІ                                  |    |
| 4.1 Види мереж .....                                 | 33 |
| 4.2 Топологія типу «зірка» .....                     | 34 |
| 4.3 Кільцева топологія .....                         | 36 |
| 4.4 Шинна топологія .....                            | 38 |
| 4.5 Вибір топології .....                            | 40 |
| 4.6 Деревовидна структура локальної мережі .....     | 40 |
| 5 КОМПОНЕНТИ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ                        |    |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 5.1 | Склад локальної мережі .....   | 42 |
| 5.2 | Файловий сервер .....  | 43 |
| 5.3 | Робочі станції .....   | 44 |
| 5.4 | Мережеві адаптери .....  | 45 |
| 5.5 | Мережеві програмні засоби .....  | 48 |
| 5.6 | Кабелі .....   | 50 |
| 6   | ПРОТОКОЛИ  |    |
| 6.1 | Визначення протоколів .....  | 55 |
| 6.2 | Робота протоколів .....  | 56 |
| 6.3 | Стеки протоколів .....   | 57 |
| 7   | МЕРЕЖЕВІ АРХІТЕКТУРИ   |    |
| 7.1 | ETHERNET .....   | 61 |
| 7.2 | Кадр ETHERNET.....   | 62 |
| 7.3 | Стандарти IEEE .....   | 66 |
| 8.  | ВИМОГИ, ЩО СТАВЛЯТЬСЯ ДО СУЧАСНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ                                  |    |
| 8.1 | Продуктивність .....   | 69 |
| 8.2 | Надійність і безпека .....   | 72 |
| 8.3 | Можливість розширення і масштабованість .....                                      | 74 |
| 8.4 | Прозорість .....   | 74 |
| 8.5 | Підтримка різних видів трафіку .....   | 76 |
| 8.6 | Керованість .....  | 77 |
| 8.7 | Сумісність .....   | 78 |
| 9.  | ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ АСУТП   |    |
| 9.1 | Особливості ТОУ .....  | 79 |
| 9.2 | АСУТП як система функціональних завдань .....                                      | 80 |
| 9.3 | Алгоритмічне забезпечення завдань контролю і первинної<br>обробки інформації ..... | 82 |



|   |     |
|---|-----|
| 9.4 Статистична обробка експериментальних даних .....                 | 91  |
| 9.5 Контроль достовірності попередньої інформації .....               | 99  |
| 9.6 Завдання характеристики .....                                     | 103 |
| 10 АРХІТЕКТУРА АСУТП  |     |
| 10.1 Завдання проектування .....                                      | 105 |
| 10.2 Архітектура АСУТП .....  | 105 |
| 11. ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ КОНТРОЛЕРИ                                   |     |
| 11.1 Місце програмованого контролера в АСУ підприємства .....         | 112 |
| 11.2 Термінологія технічних засобів .....                             | 115 |
| 11.3 Структура ПЛК .....  | 116 |
| 11.4 Операційна система ПЛК .....                                     | 120 |
| 11.5 Класифікація ПЛК .....   | 122 |
| 12 ВИБІР ПРОМИСЛОВИХ КОНТРОЛЕРІВ                                      |     |
| 12.1 Критерії вибору промислових контролерів .....                    | 129 |
| 12.2 Адекватність функціонально-технологічній структурі об'єкта ..... | 130 |
| 12.3 Продуктивність контролерів для АСУТП .....                       | 133 |
| 12.4 Спеціальні модулі контролерів для АСУТП .....                    | 136 |
| 13 СИСТЕМИ ПРОТИАВАРІЙНОГО ЗАХИСТУ В АСУТП                            |     |
| 13.1 Необхідність застосування протиаварійного захисту .....          | 137 |
| 13.2 Призначення системи безпеки гнучких виробництв .....             | 137 |
| 13.3 Призначення системи ПАЗ в АСУТП .....                            | 138 |
| 13.4 Забезпечення системи ПАЗ .....                                   | 139 |
| 13.5 Забезпечення надійності в системі ПАЗ .....                      | 140 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....   | 142 |
| ЗМІСТ .....   | 143 |